

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**ESCUELA DE ENOLOGÍA Y GASTRONOMÍA**



**“PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS Y NUTRIMENTALES DE  
CHURRITOS TRADICIONALES A BASE DE MAÍZ Y AMARANTO  
ADICIONADOS CON SÓLIDOS GRANULARES DE NOPAL”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
LICENCIADO EN GASTRONOMÍA**

**PRESENTA**

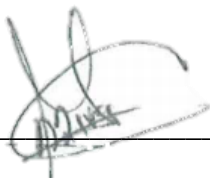
**ANDREA DORIA VALENCIA NIÑO DE RIVERA**

**ENSENADA, B. C.**

**MAYO 2017**

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Directora de la tesis: \_\_\_\_\_



DOCTORA CYNTHIA DE LIRA GARCÍA

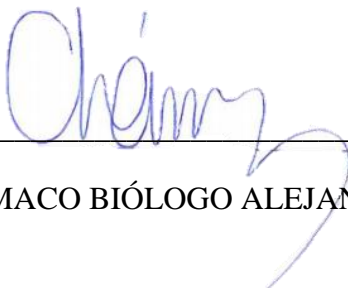
Aprobado por los integrantes del sínodo

1.- \_\_\_\_\_



Sinodal: DOCTORA MARÍA DE LAS CRUCES SOUTO GALLARDO

2.- \_\_\_\_\_



Sinodal: QUÍMICO FÁRMACO BIÓLOGO ALEJANDRA CHÁVEZ MÁRQUEZ

## DEDICATORIA

Este trabajo es el resultante de la curiosidad, misma que después de tres años no ha cesado, sino al contrario, incrementó considerablemente y espero continúe así. Porque de lo que fue una pequeña charla ahora se convierte un reto personal cumplido. Mismo que no hubiese sido posible sin el apoyo y constantes muestras de confianza por parte de mi familia, principalmente de mis mamis Andrea Doria Valencia Niño de Rivera y Guadalupe del Carmen Niño de Rivera Flores a quienes dedico este logro académico como símbolo de mi entera admiración y gratitud. Debido a que ellas son el motivo por el cual me encuentro agotada, con los ojos ardientes y con un sueño enorme, por el cual seguiré luchando como me han enseñado, con esfuerzo, pasión y mucho amor.

Han sido, son y serán mi más grande amor, ¡gracias!

“Vive como si fueras a morir  
mañana. Aprende como si fueras  
a vivir siempre”

Mahatma Gandhi

## AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis, la Dra. Cynthia De Lira García, por soportarme, transmitirme parte de su conocimiento y además brindarme su amistad.

Al comité sinodal integrado por la Dra. María de las Cruces Souto Gallardo y QFB. Alejandra Chávez Márquez por el apoyo tanto en la revisión del proyecto como en el asesoramiento durante el mismo.

A la Dra. Elsa Gutiérrez Cortez y al Dr. Mario Enrique Rodríguez García por su apoyo en la investigación con material teórico y para la realización de pruebas.

A la EEG, por el fomento e interés en este tipo de proyectos.

A mí... por no rendirme, ¡por las ganas de complicarme la vida!, porque gracias a eso tuve la oportunidad de crecer académica y personalmente, al conocer diferentes lugares y personas, las cuales, por alguna razón se cruzaron en mi camino, algunas pasaron rápidamente, otras estuvieron lo necesario para formar parte de mi historia pero hay otras que se quedaron y ahora forman parte de mi familia como:

- ❖ El Ing. Jordán Espinosa Alfaro, uno de los especialistas con los que trate durante el proyecto, a quien ahora amo... ¡Gracias churritos!
- ❖ Olivia, Andrea, Milagros, Mauricio y María, mi familia queretana que me apoyó sin condición.
- ❖ Mis sustentos en Ensenada Mario, Gladysz Alejandra, familia Ruiz Colmenero y Arriola Davis, a los cuales les estaré agradecida por darme la bienvenida a sus hogares y hacerme parte de él
- ❖ Mis niñas, Jesenia, Laurica y Ceci, quienes son un ejemplo de crecimiento constante, felicidad y autorrealización
- ❖ Maura, Yukiko, Choche, Freddy, José, Andrés, Felipe.... Y muchas personas más que me han brindado su apoyo y amistad.

## RESUMEN

El consumo de botanas en México es un indicador en aumento, al igual que la problemática de sobrepeso y obesidad infantil, especialmente en Baja California con una prevalencia de 47.7%. El objetivo del estudio es evaluar una botana tipo churrito con harina de maíz-amaranto dirigidas a niños, variando las concentraciones de sólidos granulares de nopal (SGN). Mediante dos fases (piloto y representativa), bajo tres ejes: desarrollo de la botana adicionada con SGN en 4, 6, 8% y un testigo (0%), valoración nutrimental y análisis sensorial por dos paneles, uno de niños para la prueba de aceptación (25 y 94 sujetos) y otro por adultos considerados jueces semientrenados (JSE) (15 y 22 sujetos). Se obtuvieron botanas con los parámetros característicos. Los niños presentaron una aceptación superior a 4 puntos (“Me gusta”) en todas las concentraciones de SGN pero el 54% prefirió la muestra del 4% en las dos fases del estudio. Por parte de los JSE se percibió un amargor ascendente ( $p=0.012$ ) en la fase uno, posteriormente se invirtió con la dureza ( $p=0.05$ ); se prefirió la muestra del 4% (fase 1) y 8% (fase2) con 60.0% y 54.5% respectivamente. El valor nutrimental del testigo sin nopal de la fase 1 a la concentración de 8% de la fase 2 se incrementó en la fibra y calcio, hasta un 324% y 208% respectivamente. En conclusión el aporte nutrimental de la botana tipo churrito se mejoró y las características organolépticas fueron del agrado de los evaluadores. Es posible administrar desde la concentración 4-8% SGN, debido a que las tres muestras tuvieron un nivel de aceptación alto en niños y JSE.

## Tabla de contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1 Marco teórico.....	4
1.1 El nopal.....	4
1.1.1 Descripción de la planta de nopal.....	4
1.1.2 Clasificación taxonómica del nopal.....	5
1.1.3 Morfología del nopal .....	6
1.1.4 Estado geográfico actual del nopal.....	9
1.1.5 Composición química del nopal .....	10
1.1.6 Aplicación del nopal en la industria de alimentaria .....	14
1.2 El maíz.....	17
1.2.1 Descripción de la planta de maíz.....	18
1.2.2 Clasificación taxonómica del maíz.....	19
1.2.3 Morfología del maíz .....	20
1.2.4 Estado geográfico actual del maíz.....	21
1.2.5 Composición química del maíz .....	22
1.2.6 Aplicaciones del maíz en la industria de alimentaria .....	23
1.3 Amaranto .....	25
1.3.1 Descripción de la planta de amaranto.....	26
1.3.2 Clasificación taxonómica del amaranto.....	27
1.3.3 Morfología del amaranto .....	29
1.3.4 Estado geográfico actual del amaranto.....	30
1.3.5 Composición química del amaranto .....	32
1.3.6 Aplicaciones del amaranto en la industria alimentaria.....	34

1.4 Botanas .....	35
1.4.1 Evolución de las botanas .....	36
1.4.4 Proceso de extrusión.....	38
1.4.5 Ventajas e importancia de las botanas extruidas .....	38
1.5 Evaluación organoléptica .....	39
1.5.1 Pruebas afectivas .....	40
1.5.2 Pruebas descriptivas .....	41
1.6 Evaluación nutrimental.....	41
Capítulo 2: Método.....	42
Población y muestra .....	42
2.1 Desarrollo de la botana tipo churritos adicionados con SGN.....	43
2.1.1 Acondicionamiento del amaranto.....	43
2.1.2 Proceso de elaboración de la botana tipo churrito.....	45
2.1.2.1 Prueba piloto.....	46
2.1.2.2 Prueba representativa.....	48
2.2 Evaluación sensorial.....	50
Instrumentos .....	50
Criterios de inclusión.....	51
Criterios de exclusión.....	51
2.2.1 Prueba descriptiva.....	51
2.2.2 Prueba de aceptación.....	52
2.3 Análisis estadístico .....	53
2.4 Evaluación nutrimental.....	54
Capítulo3: Resultados.....	55

3.1 Desarrollo de churritos .....	56
3.2 Evaluación sensorial .....	56
3.2.1 Primera fase: piloto.....	56
3.2.2 Segunda fase: Representativa .....	59
3.3 Valoración nutrimental .....	62
Capítulo 4: Discusión y conclusión .....	64
4.1 Discusión .....	64
4.2 Conclusión .....	66
4.3 Recomendaciones .....	66
Anexos .....	67
Anexo 1 Prueba descriptiva.....	67
Anexo 2. Prueba de aceptación.....	69
Anexo 3. Consentimiento informado .....	70
Anexo 4. Consentimiento informado para tutores legales.....	71
Referencias .....	72

## Lista de figuras

Figura 1. Cladodios, espinas y flor .....	6
Figura 2. Cladodios en diferentes etapas de maduración .....	8
Figura 3. Cultivo en Ensenada, B. C. ....	10
Figura 4. Productos a base de nopal distribuidos en México .....	15
Figura 5. Evolución del maíz.....	17
Figura 6. Inflorescencia madura de maíz.....	18
Figura 7. Partes del grano de maíz .....	21
Figura 8. Consumo de maíz en diferentes presentaciones.....	25
Figura 9. Planta de <i>Amaranthus</i> .....	27
Figura 10. Características de amaranto.....	29
Figura 11. Dulce popular mexicano .....	35
Figura 12. Botanas de la primera generación .....	36
Figura 13. Productos de la segunda generación .....	37
Figura 14. Botanas de la tercera generación.....	37
Figura 15. Elaboración de harina de amaranto .....	44
Figura 16. Amaranto hidratado sin tratamiento hidrotérmico .....	44
Figura 17. Tratamiento hidrotérmico .....	45
Figura 18. Proceso de elaboración de churritos para la prueba piloto (Fritura) .....	47
Figura 19. Elaboración de churritos a base de maíz y amaranto adicionados con SGN .....	49
Figura 20. Proceso de elaboración de la botana tipo churrito (representativa) .....	50
Figura 21. Acondicionamiento de la sala para la aplicación de la prueba descriptiva .....	51
Figura 22. Prueba de aceptación en la escuela primaria.....	53
Figura 23. Diferentes botanas tipo churrito disponibles en el mercado .....	56

## Lista de cuadros

Cuadro 1 Clasificación taxonómica del nopal.....	5
Cuadro 2. Composición química a diferentes etapas de maduración (Sólidos granulares)..	11
Cuadro 3. Contenido mineral en cladodios de nopal en fresco y deshidratado.....	12
Cuadro 4. Composición mineral a diferentes estados de maduración (g/100g): sólidos granulares.....	13
Cuadro 5. Productos y subproductos alimentarios a base de nopal.....	16
Cuadro 6. Clasificación taxonómica del maíz.....	19
Cuadro 7. Componentes químicos del maíz: partes del grano.....	22
Cuadro 8. Clasificación taxonómica del amaranto.....	28
Cuadro 9. Principales entidades productoras de amaranto y su volumen.....	31
Cuadro 10. Macronutrientes en diversas especies de amaranto.....	33
Cuadro 11. Comparación del contenido macronutricional en diversos cereales (g/100g)..	33
Cuadro 12. Comparación del contenido mineral en diversos cereales (mg/100g).....	34
Cuadro 13. Formulación de botana tipo churrito.....	46
Cuadro 14 Formulación de botana tipo churrito.....	48
Cuadro 15. Características de los participantes del estudio.....	55
Cuadro 16. Frecuencia de aceptación con escala hedónica facial (fase 1).....	58
Cuadro 17. Frecuencia de aceptación con escala hedónica facial (fase 2).....	61
Cuadro 18. Contenido nutrimental en botana tipo churrito: fase 1.....	62
Cuadro 19. Contenido nutrimental de la botana tipo churrito (fase 2).....	62
Cuadro 20. Comparación del contenido nutrimental de churritos comerciales y la muestra aceptada por los participantes de la prueba de aceptación.....	63

## Lista de gráficas

Gráfica 1. Percepción de amargor conforme a la adición de nopal .....	57
Gráfica 2. Preferencia global de la botana por los participantes de la prueba piloto .....	58
Gráfica 3. Comparación de los resultados obtenidos de la prueba de aceptación aplicada en la fase 1 .....	59
Gráfica 4. Percepción de dureza en las botanas extruidas .....	59
Gráfica 5. Preferencia global de la botana por los participantes de la prueba representativa .....	60
Gráfica 6. Comparación de los resultados obtenidos de la prueba de aceptación: fase 2 ....	61

## Introducción

En México se consumen alimentos considerados tradicionales, que datan de la época prehispánica como el maíz, el nopal y el amaranto (Buenrostro y Barros, 2004; Zizumbo y Colunga, 2010; Asociación Mexicana del Amaranto, 2010). La persistencia de estos se debe en gran medida a la raíz cultural que representan, así como a su importante aporte nutrimental. Recientemente se popularizó su uso para la promoción de hábitos alimentarios saludables por las crecientes enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como la obesidad y la diabetes atribuidos a la alimentación malsana y estilos de vida sedentarios (Rojas-Infante, 2011).

Las botanas son consumidas como una práctica alimentaria cotidiana y son consideradas uno de los principales causantes de las ECNT, ya que normalmente se componen de una alta cantidad de lípidos y azúcares, además de ser pobres tanto en fibra como en micronutrientes. También se les conoce como productos paliativos ya que su único objetivo es aplazar o atenuar el hambre (Delgado-Nieblas et al., 2011).

El maíz es un cereal (*graminácea*) considerado como ingrediente básico de las botanas, debido a las diversas aplicaciones y resultados que se pueden generar con este cereal. Las cuales suelen ser productos extruidos o expandidos de bajo contenido nutricional ya que para su uso se le retira la capa externa al grano (pericarpio), que es donde se encuentra su mayor depósito de fibra y simplemente queda almidón en el grano (Delgado-Nieblas et al., 2011).

Se ha optado por incorporar a la dieta alimentos conocidos como funcionales los cuales fortifican de cierta manera un producto. El nopal por ejemplo, aporta calcio (17g a 30g) y fibra (11g a 19g) según su estado de maduración (Rodríguez-García et al., 2007; Hernández-Urbiola et al., 2011). Estos nutrientes son necesarios para el funcionamiento del sistema digestivo. Incluso ayudan a prevenir las ECNT, debido a que la fibra atrapa en su estructura componentes como colesterol y glucosa, por lo cual el organismo absorbe en menor cantidad y velocidad dichos compuestos. El calcio se encarga de la regeneración ósea e incluso contribuye en el gasto calórico (Valadés, 2005; Escudero-Álvarez y González-Sánchez, 2006; Gutiérrez-Cortez, Palacios-Fonseca, Rojas-Molina y Rodríguez García, 2008).

El amaranto también se presenta como un alimento altamente nutritivo, incluso es considerado como un pseudocereal debido a la similitud de cultivo entre éste y la familia *graminácea*. Resalta su contenido y calidad de proteínas (18g/100g), la cual principalmente se encargan de la formación de tejido corporal, sin embargo no contiene gluten, por lo que puede ser consumido por personas diagnosticadas como celíacas. Este producto destaca por la diversidad de aplicaciones principalmente en la industria farinácea como sustituto del trigo (Cai, Corke y Wu, 2004; Morales, Vázquez y Bressani, 2014)

Se han realizado estudios sobre la incorporación de nopal, amaranto y maíz a diversos productos paliativos (Hurtado, Escobar y Estévez, 2001; Escobar, Guamis y Amaya; Rojas-Molina et al., 2011; Delgado-Nieblas, 2011; Castillo-Flores, 2013; Ramos-Díaz et al., 2015), también conocidos como botanas de la tercera generación, debido a la adición de nutrientes mediante procesos de elaboración complejos como la extrusión.

Es importante mencionar que el desarrollar un producto nutritivo no es la solución a una problemática alimentaria, ya que en él convergen individuos con exigencias y preferencias establecidas, por lo cual es necesario producir alternativas saludables que tengan la aceptación del público (Campos-Rivera y Reyes-Lagunes, 2014)

El consumo de botanas en México ha aumentado considerablemente en los últimos 10 años, tan solo durante el periodo 2012-2014 se observó un incremento del 43% (Contreras-González, 2015). Asimismo, es preocupante la problemática de sobrepeso y obesidad que afecta a todo el mundo, específicamente al 33.2% de la población mexicana en edades escolares y al 47.7% de los bajacalifornianos (Mercado y Vilch, 2013; Hernández, 2006).

Por los motivos anteriores surge el presente estudio que tiene como objetivo evaluar una botana tipo churrito con mezclas de harina de maíz-amaranto dirigidas al sector infantil, variando las concentraciones de sólidos granulares de nopal; con el fin de generar una botana con aporte nutrimental y características organolépticas deseables o preferentes para el consumidor. Particularmente el propósito es: 1) aplicar una prueba de aceptación de la botana horneada tipo churrito, a través de cuestionarios de valoración sensorial a niños de una escuela primaria de tiempo completo de poder medio adquisitivo para el establecimiento de la preferencia del churrito de acuerdo con la concentración de sólidos granulares de nopal, y 2) Establecer la influencia de la formulación de la botana tipo

churrito, mediante la variación de la concentración de sólidos granulares de nopal para seleccionar el producto con las mejores características de color, textura, sabor y concentración de nutrientes.

## Capítulo 1 Marco teórico

### 1.1 El nopal

Los mexicanos han estado ligados a ciertos alimentos de forma directa o indirecta, los cuales han formado parte del desarrollo de la nación. Uno de ellos es el nopal que ha estado presente en México con cultivos que datan desde la época prehispánica tal como lo establece Bernardino de Sahagún en el Códice Florentino (Buenrostro y Barros, 2004; Bravo, 2002).

El nopal es una cactácea endémica del Continente Americano, por lo cual se encuentran íntimamente relacionadas con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, especialmente con la cultura azteca y grupos chichimecas que se desarrollaron en regiones áridas y semiáridas de México (Pimienta, 1990). El nopal representó un impulso importante para el progreso de las culturas del centro así como del norte del país e influyó de forma determinante en el establecimiento de las mismas, como producto alimenticio y como planta de ornato. Esto es apreciable en numerosas especies en códices prehispánicos, monumentos, pinturas, cerámicas e incluso se destaca una especie del género *Opuntia* en el escudo nacional mexicano (Ríos, 2004).

En la actualidad, el nopal, es un componente importante de la economía, la agricultura, la industria y por supuesto la alimentación con un consumo per-cápita de 6.4 kg, menciona la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2015). Recientemente se ha conceptualizado el nopal como un alimento funcional (AF) debido a sus propiedades nutrimentales, los beneficios que aporta a la salud al atacar enfermedades como diabetes, sobrepeso e hipercolesterolemia, debido a su alto contenido de calcio, fósforo, potasio y fibra (Rodríguez-García et al., 2007).

#### 1.1.1 Descripción de la planta de nopal

Los nopales son plantas suculentas arborescentes y rastreras, generalmente espinosas de color verde grisáceo. Se caracterizan por tener un tronco bien definido con ramas desde la base y distribuidas por toda la planta de forma erecta, con artículos globosos, claviformes, aplanados (cladodios), muy carnosos o fibrosos que cuentan con areolas axilares espinosas de forma solitaria, en grupos, desnudas o en vainas papiráceas. Generalmente los cladodios

de la parte superior son los productores de flores, los cuales son principalmente hermafroditas y cuenta con estambres numerosos más cortos que los pétalos los cuales son gruesos y se encuentran encarnados al cladodio. El fruto es una baya elipsoidal de corteza gruesa y espinosa, con pulpa abundante y muchas semillas, estas pueden presentar un sabor dulce o ácido. (Landro, 2006; Sáenz, 2006).

### 1.1.2 Clasificación taxonómica del nopal

El nopal pertenece al género *Opuntia* de la familia *Cactaceae* (Sáenz et al., 2004). Es preciso mencionar que la taxonomía del nopal (Cuadro 1) es un tanto compleja debido a la gran diversidad de especies y ecotipos producto de la hibridación natural (Hernández et al., 2005). El Instituto Nacional de Ecología (INE) en el 2011 describió que la familia *Cactaceae* cuenta con 125 géneros y 2,000 especies. Específicamente del género *Opuntia* y *Nopalea* se reconocen 258 especies, de las cuales 114 de ellas se encuentran en México (Rodríguez, 2009), 104 de ellas pertenecen al género *Opuntia* y las 10 restantes al género *Nopalea*. Por otra parte Ríos en el 2004 mencionó que en México solo se aprovechan 26 especies: 15 para forraje, 5 para fruta, 2 para crianza de cochinilla y 4 para verdura (*O. ficus-indica*, *O. streptacantha*, *O. robusta* y *Nopalea Cochenillifera*).

Cuadro 1 Clasificación taxonómica del nopal

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Subreino</b>	Tracheobionta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Caryophyllidae
<b>Orden</b>	Caryophyllales
<b>Familia</b>	Cactaceae
<b>Géneros</b>	Opuntia Nopalea
<b>Especie</b>	O. ficus-indica O. streptacantha O. robusta Nopalea Cochenillifera

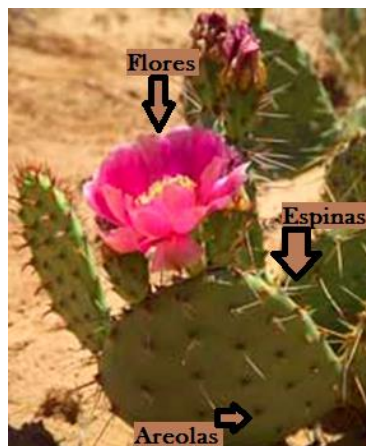
Modificado de: (Loubet, 2008)

### 1.1.3 Morfología del nopal

El aspecto de las cactáceas en la mayoría de los casos es muy similar ya que no cuentan con hojas y tienen un cuerpo carnoso de color verde estructurado a partir de las areolas. A partir de estas es posible desarrollar más pencas, raíces o flores, mismas que se encuentran cubiertas por espinas como muestra la Figura 1. El tipo y la cantidad de espinas es muy variable, en el caso de los nopales depende de las condiciones del medio en que viva y de la edad (Ríos, 2004). La morfología del nopal se divide en cuatro partes: raíz, flor, fruta y parte vegetativa (tallos y cladodios) (Magloire et al., 2006).

La flor se localiza en la parte superior de las pencas. Por lo general, estas son grandes y sus pétalos poseen colores brillantes e intensos como: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, etc., según la especie de nopal de la que provienen. (Rodríguez et al., 2009). Internamente la flor consta de un cáliz unido al ovario y al limbo, además de un pistilo grueso de forma cilíndrica y numerosos estambres persistentes que se muestran como filamentos largos y coloridos; es de sexo hermafrodita y presentan una polinización zoófila (insectos). La apertura de la flor (Figura 1) tarda en promedio 55 días después de la aparición de las yemas florales, posteriormente permanecerá abierta durante 24 horas y 24 horas después dará paso al momento de antesis, que es el punto exacto a partir del cual se empieza el periodo de fructificación (Sáenz, 2006).

Figura 1. Cladodios, espinas y flor



Areolas, flores y espinas, las cuales generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios) y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas (FAO, 2006).

Modificado de: Ruiz-Alvarado, 2016

La planta de nopal cuenta con un sistema radicular perenne, extenso y superficial. Las raicillas secundarias están provistas de pelos absorbentes, caducas, ya que su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua durante los breves períodos de lluvias e incluso el agua proveniente de la niebla (Nobel, 2002). Esto permite que las plantas tomen agua y la almacenen como esponja en el parénquima. Se ha demostrado que la capacidad de la familia *Cactaceae* para retener el agua, incluso bajo condiciones climáticas desfavorables, se debe a la producción alta de mucílago tanto en cladodios como en frutos (Magloire et al., 2006).

El fruto del nopal es una falsa baya de apariencia ovoide principalmente, cilíndrica de diversos colores, umbilicada (cicatriz floral) en el extremo superior, cuenta con un pericarpio correoso, con numerosas areolas de ahuates (espinas pequeñas); internamente presenta una gran cantidad de semillas negras principalmente; son comúnmente conocidas como tuna y reconocidas por su sabor agradable (ácido o dulce) (Ochoa, 2003).

La parte vegetativa del nopal está compuesta por cladodios o pencas de cutícula gruesa y cerosa que retiene agua en un entramado de carbohidratos llamados mucílagos, es decir al cortar una penca no fluye una sustancia líquida sino un coloide o sustancia pegajosa y viscosa conocida como baba del nopal (Ríos, 2004). En el centro de los cladodios se encuentra una red bilateral de tejido celuloso que se endurece con el transcurso del tiempo, dándole a éstos una constitución rígida. Según la edad de la planta, el lugar donde se produce y la época del año varía la forma, tamaño, grosor y color que van del verde claro hasta el gris o ceniza de los cladodios como se aprecia en la Figura 2 (Guzmán, 2007).

Figura 2. Cladodios en diferentes etapas de maduración



Cladodios de diferentes edades que a su vez presentan distintas tonalidades en verde.

Internamente está compuesto por el parénquima medular (tejido básico de color blanco) y clorofila que contiene el parénquima fotosintéticamente activo (tejido cortical de color verde), en el cual se encuentran el gloquidio (pelos barbados y delgados, generalmente invisibles) se compone 100% de celulosa cristalina; las espinas que se constituyen por 96% de polisacáridos, que a su vez se divide en 49.7% de celulosa y 50.3% arabinanos, el resto de cenizas, grasas y ceras, así como de lignina. Las espinas son de 1-3 cm de largo y constituyen el 8.4% del peso total de los cladodios. Sus funciones incluyen la protección mecánica a los herbívoros, la reflexión de la luz, reducir la pérdida y condensación de agua (Stintzing, 2005).

Los cladodios son órganos suculentos, cuya epidermis consta de una capa de células epidérmicas y de 6 a 7 capas de células hipodermales de pared celular muy gruesa. La epidermis tiene tres funciones: 1) regular el movimiento del bióxido de carbono hacia el interior y del oxígeno hacia el exterior del cladodio, 2) retener el agua dentro del cladodio y 3) proteger al cladodio del ataque de hongos, bacterias, insectos y otras plagas, y de la insolación intensa (Corrales, 2002). La parte más externa de la epidermis, la cutícula, está formada por una mezcla de ácidos grasos que se polimerizan espontáneamente en presencia de oxígeno y que repelen el agua. La cutícula del nopal, en comparación con la de la mayoría de las plantas, es relativamente gruesa (8-20  $\mu\text{m}$  en *O. ficus-indica*) (Corrales, 2002).

El nopal *Opuntia ficus indica* casi no tiene espinas. Es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm. de diámetro. Esta, forma artículos oblongos (pencas o cladodios) de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm. de ancho y de 2 a 3

cm. de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas numerosas y amarillas, produce flores de 7 a 10 cm de largo (Ríos, 2004). En general, la naturaleza química y la estructura de las capas de cutina están diseñadas para minimizar la transpiración, además, su color blanco refleja gran parte de la radiación solar, lo que ayuda a mantener baja la temperatura del cladodio (Corrales, 2002).

### **1.1.4 Estado geográfico actual del nopal**

El nopal *Opuntia ficus indica* se cultiva en una altura de los 800 a 2,400 m sobre el nivel del mar (msnm), aun cuando se encuentra hasta los 3000 msnm. El tipo de suelo en el que se desarrolla es el volcánico y calcáreo de textura franca, con un pH de 6.5 a 8.5 (Balderas, 2009). Debido al consumo eficiente del agua, la adaptabilidad ecológica y la cosecha abundante es posible encontrar esta planta distribuidas en las zonas áridas y semi-áridas de muchos países. Los principales países donde se cultiva son: México, Argentina, Perú, Bolivia, Brasil, el Reino Unido, Estados Unidos (Texas), España, Italia, África (Marruecos, Túnez, Eritrea, Etiopía), Israel y Sudáfrica (Sáenz et al., 2004). El cultivo comercial se lleva a cabo en Italia, España, México, Brasil, Chile, Argentina y California (Stintzing y Carle, 2005).

México es el principal productor de nopal con un 90% de la producción mundial. El Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) indica que en el año 2010 la producción de nopal a nivel nacional fue de 723,815.42 toneladas. Estas provenientes principalmente de los estados de: San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes, Puebla, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Morelos, Estado de México y Baja California, siendo el único estado del norte del país en producir nopal (Figura 3), El principal productor de nopal es la ciudad de México con el 80% de la producción nacional total, donde Milpa Alta, es la mayor y más antigua zona productora de nopal en México (SINAREFI, 2010).

Figura 3. Cultivo en Ensenada, B. C.



Cultivo de nopal destinado para consumo como vegetal ubicado en San Antonio de las minas, Ensenada, B.C.

La producción nacional se divide básicamente en 3 clasificaciones, dependiendo del tamaño de éstos, los cuales son el nopal tipo verdura (676,180.66 Ton.), el tipo tunero (378,697.94 Ton.) y el forrajero (130,035.04 Ton.). Los dos primeros son los que se utilizan como alimento y en lo que respecta al nopal forrajero, éste comúnmente se utiliza como alimento para ganado; la mayor parte de la producción es destinada para la exportación y pequeñas cantidades son para consumo local. (SAGARPA, 2008).

### 1.1.5 Composición química del nopal

Las cactáceas, al igual que todas las plantas superiores, presentan un complicado proceso metabólico que da origen a la formación de muy diversos compuestos orgánicos. Para iniciar este proceso se requiere de agua, bióxido de carbono, oxígeno y otros minerales (Sánchez, 1978).

Los componentes químicos de los cladodios varían en función de los factores edáficos en el lugar de cultivo, la temporada y la edad de la planta. De igual manera los respectivos nutrientes se modifican según la especie y variedades (Stintzing, 2005). El contenido de agua en el nopal es generalmente mayor al 90%. En la variedad *Opuntia ficus indica* varía entre el 80-95% dependiendo de la edad, seguido de pequeñas cantidades de carbohidratos

(3-7%), fibra (1-2%), proteína (0.5-1%) y un aporte de 27 Kcal/100g por lo que es considerado un alimento nutritivo bajo en calorías (Ginestra et al., 2009; Stintzing, 2005).

La cantidad de minerales que se localizan formando parte de los órganos y tejidos del nopal son el calcio, potasio, magnesio, sílice, sodio y fósforo. Estos también varían en función de la edad. También, pueden presentar cloruros, sulfatos y pequeñas cantidades de fosfatos (Loubet, 2008). Generalmente los cladodios son ricos en pectina, mucílago y minerales, mientras que sus frutos (tunas) son buenas fuentes de vitaminas, aminoácidos, azúcares y betalaínas (Magloire et al., 2006).

Una penca o cladodio en etapa de comercialización tiene aproximadamente 32 a 40 días de maduración, pesa alrededor de 90 a 100g., cada uno y presenta una longitud de 20 a 25 cm por 15 cm de ancho (Díaz-Díaz, 2015). Hernández-Urbiola y colaboradores realizaron un estudio en el 2011 el cual demuestra, la composición química y mineral de los nopales, así como su presencia en función de diferentes etapas de madurez de los mismos. Se determinó que los componentes químicos en sólidos granulares de nopal en etapa de comercialización (100g) son 5.03 g de humedad, 17.65 g de ceniza, 2.16 g de grasa, 11 g de fibra cruda, 7.07 g de proteína y 42.4 g de carbohidratos. Además, contienen 3.77 mg de fósforo, 0.05 mg de manganeso, 0.132 mg de Hierro, 0.06 mg de zinc, 11 mg de magnesio, 29.20 mg de calcio, 69.95 mg de potasio y 0.20 mg de sodio.

La composición química del nopal, y en general de las cactáceas, varía en las distintas especies y también dentro de una misma especie según la maduración del cladodio (Guzmán *et al.*, 2007), en el Cuadro 2 se observa que los cladodios jóvenes contienen porcentajes menores de materia seca pero superiores en proteína, carbohidratos y humedad.

Cuadro 2. Composición química a diferentes etapas de maduración (Sólidos granulares)

Maduración de cladodios (días)	Peso de cladodios (g)	Humedad (g)	Ceniza (g)	Lípidos (g)	Fibra cruda (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)
40	100	5.03	17.65	2.16	11.00	7.07	42.94
60	200	5.43	20.64	2.38	16.14	8.39	53.01
80	300	4.36	21.64	1.53	18.73	7.25	53.53
100	400	4.08	22.80	1.42	20.11	8.29	56.73
125	500	4.35	20.91	1.70	19.85	5.85	52.67

Se reporta el promedio en 100 g de los cladodios de *opuntia ficus indica* en diferentes estados de maduración.

Fuente: (Hernández-Urbiola et al., 2011)

Los cladodios de la especie *ficus-indica* contienen carbohidratos de tipo monosacáridos, disacáridos y polisacáridos; además de cantidades considerables de vitamina C (10-15 mg

por 100 g<sup>-1</sup>) y del precursor de la Vitamina A, el  $\beta$ -caroteno (30  $\mu$ g por 100 g<sup>-1</sup> de carotenoides). La acidez de los nopales varía considerablemente (0.1-0.6% de acidez titulable) y también representan una fuente de fitoquímicos, tales como compuestos fenólicos, flavonoides y minerales. (Corrales, 2002; Guzmán et al., 2007).

Rodríguez et al., (2007) menciona que la presentación de sólidos granulares de nopal concentra en gran medida los minerales presentes en los cladodios y se muestran como una opción viable para el suministro de los mismos como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido mineral en cladodios de nopal en fresco y deshidratado

Mineral	Nopal Fresco (100g)	Nopal Deshidratado (1g)
<b>Potasio (mg)</b>	166	55.20
<b>Calcio (mg)</b>	93	17.95
<b>Sodio (mg)</b>	2	0.3
<b>Hierro (mg)</b>	1.6	0.09

Modificado de: Stintzing, 2005; Hernández-Urbiola, 2011

Respecto a la composición mineral del nopal, es importante señalar que el potasio representa aproximadamente el 50% del total de ceniza obtenida, mientras que la acumulación de calcio varía de 1.52 a 3.72%. El contenido de calcio se incrementa con la edad como se percibe en el Cuadro 4. (Stintzing, 2005; Rodríguez et al., 2007; Hernández-Urbiola et al., 2011). En los tejidos de nopal el calcio se encuentra unido al mucílago y puede actuar como un regulador de la cantidad de calcio libre soluble en los tejidos (Trachtenberg, 1981).

El calcio tiene un papel importante en la retención de agua de los tejidos suculentos para regular la presión osmótica en las células. Ginestra y colaboradores (2009) mencionan que los cladodios de *O. ficus-indica* contienen cantidades significativas de cristales de oxalato de calcio presentes en todos los tejidos. Además, se ha demostrado que el tamaño del cristal, aumenta en función de la maduración, y que la existencia de los oxalatos de calcio puede limitar la biodisponibilidad de calcio. Por otra parte, Contreras-Padilla et al. (2010) y Rodríguez-García et al. (2007) comprobaron que la presencia de oxalatos de calcio van de 7.95 $\pm$ 0.82 mg (nopal de 60 g), 3.47 $\pm$ 0.37 mg (nopal de 100 g), 5.73 $\pm$ 0.64 mg (nopal de 150

g) a  $3.94 \pm 0.26$  mg (nopal de 200 g) y que no comprometen la biodisponibilidad (Ca/P) del mismo, ya que este presenta una relación ascendente de 3.60 (nopal de 60 g) a 11.33 (nopal de 200 g).

Cuadro 4. Composición mineral a diferentes estados de maduración (g/100g): sólidos granulares

Mineral	Maduración (días)				
	40	60	80	100	125
<b>Fósforos</b>	2.59	4.48	4.06	3.77	3.15
<b>Manganeso</b>	0.29	0.07	0.08	0.05	0.03
<b>Hierro</b>	0.09	0.10	0.12	0.132	0.16
<b>Zinc</b>	0.08	0.04	0.03	0.06	0.04
<b>Magnesio</b>	8.80	11.20	10.2	11.00	8.95
<b>Calcio</b>	17.95	24.00	28.35	29.20	30.70
<b>Potasio</b>	55.20	70.90	72.20	69.95	51.80
<b>Sodio</b>	0.30	0.30	0.55	0.20	0.20

La composición química mostrada en el cuadro 4 es variable en función de la variedad, estado de madurez y la tierra donde se cultivó el nopal.

La fibra dietética está constituida por diferentes componentes resistentes a las enzimas digestivas, entre ellos la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Stintzing y Carle (2005) reportaron que los valores medios de la materia seca de cladodios de *Opuntia sp* asciende a 11% de celulosa, 8% hemicelulosa, y 3.9% de lignina. Según su solubilidad en agua, la fibra se clasifica en soluble e insoluble; la primera la conforman los mucílagos, las gomas, las pectinas y las hemicelulosas; la insoluble es principalmente celulosa, lignina y una gran fracción de hemicelulosa. Así mismo, Rodríguez-García et al. (2007) mencionó que al aumentar el estado de maduración de los cladodios, se incrementa la cantidad de fibra insoluble de 29.87g/100 g de sólidos granulares (nopal de 60 g) a 41.65 g/100 g de sólidos granulares (nopal de 200 g) y disminuye la de fibra soluble de 25.22/100 g de sólidos granulares (nopal de 60 g) a 14.91 g/100 g de sólidos granulares (nopal de 200 g).

El almidón, también considerado glucano de cladodios de *Opuntia ficus-indica* fluctúa con las estaciones y alcanza valores promedio de 85-171 mg/g de peso seco; el contenido de azúcar llega a 0.32 g/100 g de peso fresco aunque no se menciona la edad de nopales en

ambos casos (Sánchez, 1978). En otro estudio se informó que la fracción de azúcares reductores es de 0.64-0.88 g/100 g de peso seco, aumentando con el desarrollo, pero también variable según las especies (Stintzing, 2005). En cuanto a vitaminas, los cladodios de nopal cuentan con 22 mg del tipo C,  $\beta$ -caroteno en 11.3-53.5  $\mu$ g, tiamina en 0.14 mg, riboflavina en 0.6 mg, y niacina en 0.46 mg en 100 g de peso fresco. La clorofila total en los cladodios fue reportada en 12.5 mg/100 g de peso fresco de los cuales clorofila a con 9.5 mg y contenido de clorofila b en 3.0 mg (Stintzing, 2005).

### **1.1.6 Aplicación del nopal en la industria de alimentaria**

Tradicionalmente y en la actualidad, las cactáceas son una fuente de frutos y vegetales para la obtención de productos alimentarios, medicinales, cosméticos, así como forraje, material para construcción y como fuente de colorantes naturales (Stintzing, 2005). Los nopales que están destinados para el consumo como hortaliza cuentan con un aspecto delgados, de apariencia fresca, turgentes y tienen un color verde brillante. Después de ser cuidadosamente desespinaados se pueden consumir tanto en estado fresco como cocidos (Corrales, 2002).

Al nopal se le atribuyen diversas propiedades medicinales debido a los elementos presentes como el calcio, fósforo, mucílago y fibra principalmente. Por tal motivo numerosos científicos, mayoritariamente en México, se han encargado de analizar los beneficios que aporta el nopal a la salud humana como auxiliar diurético (Galati et al., 2002), antiinflamatorio, analgésico, antiulceroso, hipoglucemiante e hipocolesterómico (Stintzing, 2005; Magloire, 2006). Estas propiedades ayudan al control del colesterol y prevención de algunas enfermedades como diabetes, obesidad, osteoporosis (Rodríguez-García et al., 2007; Valdez et al., 2008), contrarrestando gastritis, hiperglucemia y arteriosclerosis (Loubet, 2008). A la fibra soluble que aporta el nopal se le asocia con la reducción de los niveles de glucosa y colesterol, así como con la estabilización del vaciamiento gástrico. En cambio, a la fibra insoluble se le relaciona con la capacidad de retención de agua (aumento del peso de las heces), el intercambio iónico, la absorción de ácidos biliares, los minerales, las vitaminas e interacciona con la flora microbiana (Valdez et al., 2008). Así mismo, es capaz de disminuir la absorción gastrointestinal de varios nutrientes y, en consecuencia, los

niveles sanguíneos de colesterol, triglicéridos y glucosa por falta de absorción (Basurto et al., 2006).

Las propiedades de la fibra se potencializan a través de los procesos de deshidratación y molienda para la obtención de sólidos granulares que se destinan tanto para la industria de alimentos como para la industria de complementos alimenticios. También, se ha popularizado el aprovechamiento del nopal para el consumo humano mediante la preparación de licuados y jugos a base de pencas tiernas (Balderas, 2009).

La gran cantidad de nutrientes potencialmente activos y sus propiedades multifuncionales hacen del nopal (*Opuntia spp.*), tanto las frutas como los cladodios, candidatos perfectos para la producción de complementos alimenticios para mejorar la salud (Magloire et al., 2006). De tal manera que Cornejo-Villegas et al. (2010), fortificaron harinas de maíz nixtamalizado con diferentes concentraciones de nopal para aumentar su contenido de calcio y fibra.

El nopal es una especie vegetal de importancia en el contexto internacional. Los productos obtenidos de su cultivo e industrialización, tales como fruta fresca, verdura, forraje, mermeladas, jugos y pulpa, licor, dulces, vinagre, aceites y el colorante acetocarmín proveniente de la cochinilla son altamente apreciados, por lo que se ha aumentado significativamente su demanda (Figura 4. Productos a base de nopal distribuidos en México Figura 4) (Calderón-Paniagua, 2001).

Figura 4. Productos a base de nopal distribuidos en México



Productos comerciales de nopal con procesos de elaboración más complejo: A) crema, B) gazpacho, C) aderezo, D) Base de chile y E) Pizza.

Modificado de: Ruiz-Alvarado

Específicamente los cladodios presentan interés en la industria cuando los brotes son tiernos (10-15 cm) ya que se destinan para su comercialización como hortaliza y productos mínimamente procesados. Cuando están parcialmente lignificados debido a la sobremaduración (cladodios de 2-3 años), se destinan para la producción de sólidos granulares y forraje para la alimentación animal (FAO, 2006).

El Nopal se considera un producto de tipo farináceo en su presentación de sólidos granulares ya que puede aplicarse hasta el 20% como un agente espesante, gelificante y sustituto parcial de la harina de trigo. Además, es utilizado hasta en un 10% como aditivo para las bebidas a base de leche, suero de leche y agua (Stintzing, 2005). En el Cuadro 5 se muestran ejemplos de algunos productos y subproductos de tipo alimenticio obtenidos a partir del fruto (tuna) y de cladodios del nopal.

Cuadro 5. Productos y subproductos alimentarios a base de nopal

<b>Productos</b>		<b>Subproductos</b>
<b>Frutos (tuna)</b>	<b>Cladodios</b>	<b>Frutos y cladodios</b>
Jugos y néctar	Encurtidos y salmueras	Aceite de semillas
Mermeladas y gelatinas	Mermeladas y gelatinas	Fibra dietética de cladodios
Frutas congeladas	Harina	Mucílago de cladodios
Edulcorantes	Salsa	Pigmentos de la cáscara
Alcohol	Alcohol	
Dulces	Dulces	

Fuente: Sáenz, 2000

Es importante mencionar que algunas organizaciones gubernamentales como el Instituto Nacional de Desarrollo Social (INDESOL) y la SAGARPA han generado programas para la difusión y consumo del nopal en México mediante recetarios para el hogar y manuales para el cultivo del nopal. Además, los sectores industriales como: alimentos y bebidas, suplementos alimenticios y aditivos, ganadera, son beneficiados al comercializar bebidas alcohólicas, fruta y verdura, SGN, gomas, colorantes y forraje respectivamente. La utilización integral de la planta de nopal se presenta como una alternativa viable para enfrentar algunas de las problemáticas alimentarias actuales. Esta, contribuye a la economía nacional mediante el cultivo del nopal y la incorporación de valor agregado a los productos, así mismo, fomenta el consumo de productos mexicanos tradicionales (Valdez et al., 2008).

## 1.2 El maíz

La palabra *Maíz* es de origen prehispánico, significa literalmente “lo que sustenta la vida” (FAO, 1993). Es el cereal de los pueblos pertenecientes al continente americano, desde la civilización olmeca, azteca, teotihuacana, entre otros en Mesoamérica, hasta los incas y quechuas en la región andina de Sudamérica. Estas civilizaciones, fueron algunas de las que se acompañaron durante su desarrollo por esta planta (Serratos, 2009). La evidencia más antigua del maíz ha sido encontrada en el valle de Tehuacán, Puebla y se le atribuye aproximadamente 7000 años de antigüedad. Sin embargo, algunos autores estiman que su domesticación fue alrededor de 8700 años antes de nuestra era en las cercanías de Guatemala y el sur de México (FAO, 1993; Zizumbo y Colunga 2010).

Se presume que el maíz es el resultado de la mutación natural con una gramínea silvestre llamada *Teosinte*, posteriormente fueron los pobladores prehispánicos los encargados en seguir reproduciendo y mejorando la planta hasta obtener diversas variedades mutantes (FAO, 1993). La teoría de que el maíz es una forma domesticada de *Teocintle* (Figura 5) ha sido expuesta principalmente por Bradley desde 1939 y se ha consolidado a través de los años como la más viable (Itis, 1983; Mangelsdorf, 1986; Galinat, 1988; Goodman, 1988; Doebley, 1990; Paliwal, 2001).

El maíz es uno de los cultivos básicos más importantes que se han extendido mundialmente, estableciéndose como uno de los pilares en la alimentación de millones de personas, principalmente en América. Además, se ha consolidado como uno de los cultivos de mayor presencia en México debido a la importancia alimentaria, económica, política y sociocultural (INE, 2008).

Figura 5. Evolución del maíz



### 1.2.1 Descripción de la planta de maíz

El maíz es una planta monocotiledónea de apariencia robusta, de fácil desarrollo y producción anual, se siembra normalmente entre abril y junio para ser cosechada en otoño (Ortas, 2008). Es una especie monoica o hermafrodita, razón por la cual le permite crear recombinaciones (cruces) y nuevos híbridos, lo que permite obtener mejores rendimientos en producción, resistencia a plagas y cambios climáticos (OECD, 2003).

La planta de maíz presenta abundantes hojas (30 aproximadamente) que normalmente parten de un tallo principal y un sistema radicular fibroso. Desarrolla una o dos yemas laterales que surgen de la parte axilar de las hojas que se encuentran en la mitad superior de la planta, las cuales posteriormente se convertirán en inflorescencias femeninas, para así desarrollar el fruto (mazorca) cubierto por hojas. La parte superior de la planta termina en una inflorescencia masculina o panoja, la cual presenta una espiga central prominente y varias ramificaciones laterales con flores productoras de abundantes granos de polen (Figura 6) (Paliwal, 2001).

Figura 6. Inflorescencia madura de maíz



Panojas de maíz (elote) recién cortadas y puestas a la venta en una calle de Ensenada.

La planta de maíz es considerada como un sistema metabólico creador de almidón que es depositado en los granos (órganos especializados). El desarrollo de la planta se puede dividir en dos fases fisiológicas la primera es considerada la fase vegetativa donde se

desarrollan y diferencian distintos tejidos hasta aparecer las flores. Esta fase, a su vez está compuesta de dos ciclos, en el primero se forman las hojas lentamente y de manera ascendente, en el segundo se desarrollan los órganos reproductivos y se finaliza con la emisión de los estigmas. La segunda fase fisiológica es la reproductiva, que inicia con la fertilización de las estructuras femeninas que se diferenciarán en espigas y granos (maduración e incremento de la planta) (FAO, 1993).

### 1.2.2 Clasificación taxonómica del maíz

El maíz (*Zea mays ssp. mays*) es un pasto de la familia botánica *Gramineae* o *Poaceae* al igual que el trigo, el arroz, la cebada, el centeno y la avena (OECD, 2003). Es pariente del *teocintle* debido a que se clasifica dentro del género *Zea* por su similitud en la espiga o inflorescencia masculina. El género *Zea* se ha dividido en dos secciones luxuriantes y anuales (INE, 2008). En el Cuadro 6 se presenta la taxonomía del maíz partiendo desde el reino hasta la subespecie destinada para el consumo humano.

Cuadro 6. Clasificación taxonómica del maíz

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>Subreino</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Liliopsida</i>
<b>Subclase</b>	<i>Commelinidae</i>
<b>Orden</b>	<i>Poales</i>
<b>Familia</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Subfamilia</b>	<i>Panicoideae</i>
<b>Tribu</b>	<i>Maydeae</i>
<b>Género</b>	<i>Zea</i>
<b>Especie</b>	<i>Mays</i>
<b>Subespecie</b>	<i>Mays</i> <i>Mexicana</i> <i>Parviglumis</i> <i>Huehuetenangensis</i>

Modificado: INE, 2008; Sánchez-Ortega, 2014

En el Cuadro 6 se observa la clasificación del maíz, sin embargo, es imprescindible mencionar que este tiene una gran diversidad en sus variedades, las cuales se diferencian en función del color del grano, la constitución del endospermo (textura y la apariencia), el ambiente en que es cultivado, madurez y su uso. Los tipos de maíz más importantes son duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso y tunicado (Paliwal, 2001).

### **1.2.3 Morfología del maíz**

Existen diversas variedades de maíz, algunas de tipo enanas de 40 a 60 cm de altura hasta las gigantes de 8 m de altura aproximadamente, alcanzan un diámetro de 1.5 a 4.0 cm y sus tallos están llenos de pulpa que sirve de almacén para las reservas producidas fotosintéticamente en las hojas (Valladares, 2010).

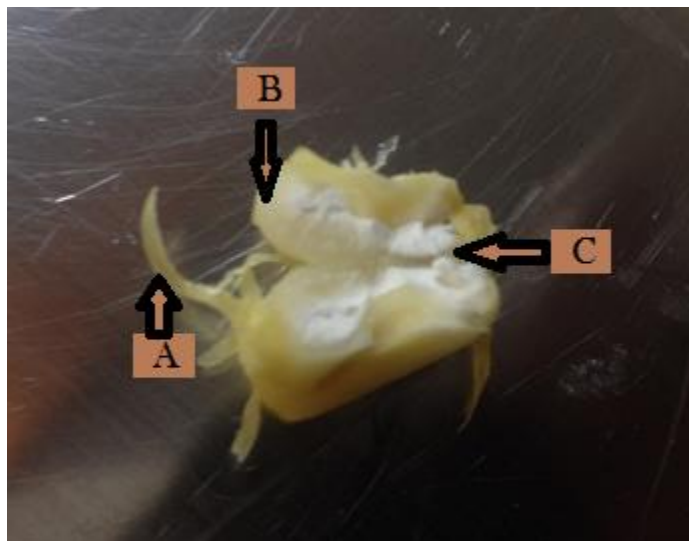
La planta del maíz se divide en cinco partes: sistema radicular, tallo, hojas, inflorescencia, y fruto (mazorca). Las raíces son fasciculadas (no cuentan con una raíz principal) y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta (OECD, 2003; FAO, 1993; Paliwal, 2001). El tallo es simple, erecto, con longitud de entre 1 a 4 m de altura, es robusto y sin ramificaciones, por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos (Sánchez-Ortega, 2014). Las hojas son largas con forma lanceolada y paralelinervias que crecen desprendidas de los nodos, alternadamente abrazadas al tallo y presenta vellosidades en el haz. Por último, los extremos de las hojas son afiladas y cortantes (Paliwal, 2001).

El maíz es de inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. La masculina presenta una panícula con tres estambres (coloquialmente llamadas espigón o penacho) de color amarillo. Estos contienen, aproximadamente, de 20 a 25 millones de granos de polen. La inflorescencia femenina, llamada panoja, cuenta con una menor cantidad de polen, alrededor de 800 o 1000 granos distribuidos entre 12 y 16 hileras. Forman estructuras vegetativas denominadas espádices colocadas de forma lateral (Paliwal, 2001; OECD, 2003; Kato, 2009).

El grano a su vez está dividido en tres partes principales (Figura 7): el pericarpio, que es la capa externa casi impermeable que lo cubre y representa del 5 al 6% del peso total del grano, seguido del endospermo (80 al 82%), donde está la fuente tanto de almidón como de

proteína y finalmente en la parte interior se encuentra el germen o embrión (8 al 12%), el cual se encarga de la reproducción de la planta (Martínez-Manrique, Jiménez-Vera, 2013).

Figura 7. Partes del grano de maíz



Grano de maíz parcialmente cocido donde es posible diferenciar las partes del grano: A) pericarpio, B) endospermo y C) germen o embrión

#### 1.2.4 Estado geográfico actual del maíz

El maíz es popularmente conocido por sus cualidades alimentarias, motivo por el cual, la mayoría de la producción mundial es destinada para el consumo humano, así como, la alimentación de ganado, y de uso industrial. Se ha convertido en uno de los productos más influyentes en los mercados internacionales posicionándose como el cultivo más sembrado a nivel mundial debido a su importancia económica y social (FIRA, 2015). La producción mundial de maíz del año 2016 fue de 961.1 millones de toneladas (mt), las cuales provenían principalmente de Estados Unidos (384,778,000 mt), China (219,554,000 mt), Brasil (86,500,000 mt), Unión Europea (60,684,000 mt), Argentina (36,500,000 mt), Ucrania (27,000,000 mt) y México (24,500,000 mt), entre otros países. Para el año 2017 se estima una producción mundial de maíz de 1037.93 millones de toneladas, según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (Producción mundial de maíz, 2017).

La producción de maíz proveniente de México se posiciona dentro del cuarto a séptimo lugar del total mundial. En el año 2014 se cosecharon 23.27 millones de toneladas del cual el 89% correspondió a maíz blanco, 10.4 % a maíz amarillo y el restante 0.6 % a otros tipos de maíces. En el mismo año los principales productores de maíz mexicano fueron Sinaloa

con 3.7 mt, que representó 15.8% de la producción total nacional (PTN); en segundo lugar se encontró a Jalisco con 3.5 mt, es decir una participación de 14.9% PTN; Michoacán es el estado que ocupa el tercer puesto con 1.9 mt que significó el 8.3% PTN (FIRA, 2015).

### 1.2.5 Composición química del maíz

En México, el maíz es considerado una fuente importante de energía debido a su contenido de carbohidratos, los cuales representan el 75 % de sus constituyentes químicos (Cornejo-Villegas, et.al., 2013). La concentración y presencia de nutrientes en el maíz, varían dependiendo de la parte del grano, como se observa en el Cuadro 7, el endospermo es básicamente almidón y un poco de proteínas. La mayoría de los aceites se encuentran contenidos en el germen, el cual presenta un elevado contenido proteico y azúcares. Además, el pericarpio presenta principalmente fibra en su estructura (Paliwal, 2001; Sánchez-Ortega, 2014).

Cuadro 7. Componentes químicos del maíz: partes del grano

<b>Composición</b>	<b>Endospermo (%)</b>	<b>Germen (%)</b>	<b>Pericarpio (%)</b>
<b>Almidón</b>	87.6	8.3	7.3
<b>Grasa</b>	0.8	33.2	1
<b>Proteína</b>	8	18.4	3.7
<b>Ceniza</b>	0.3	10.5	0.8
<b>Azúcares</b>	0.6	10.8	0.3
<b>Fibra</b>	2.7	18.8	86.9
<b>Ceniza</b>	83	11	5.2

Modificado de: Paliwal, 2001

En México se realiza un tratamiento térmico con solución alcalina para adelgazar la capa superficial del grano (pericarpio) y desarrollar una gelatinización parcial del almidón contenido en el endospermo, este proceso es conocido como nixtamalización. El cual proporciona un incremento significativo del contenido de calcio que depende de la adición de hidróxido de calcio, el tiempo de reposos y la temperatura (Cornejo-Villegas et.al., 2013).

Posterior al proceso de nixtamalización se retira el pericarpio y se procede a la molienda del grano, hasta este punto se obtiene una masa homogénea, la cual permite la

manipulación del maíz y su uso tradicional en México. Después de moler los granos de maíz nixtamalizados, la masa húmeda pasa a través de varias etapas de secado, molienda, cernido, clasificación y mezcla para elaborar harina de masa seca comerciales, las cuales tienen como ventaja principal la reducción en los tiempos de preparación de la masa (Paliwal,2001; Téllez, 2014). La harina comercial de maíz nixtamalizado (HCMN) presenta un contenido nutrimental de: 66.30 g carbohidratos, 8.29 g proteína, 343.00 kcal calorías, 2.82 g ácidos grasos poliinsaturados, 18.00 mg calcio, 189.00 mg fósforo, 120.00 mg potasio y se le adiciona 0.50 mg vitamina B, 0.16 mg vitamina B2, 2.40 mg hierro, 0.40 mg de zinc y 0.20 mg ácido fólico (FAO, 2014).

### **1.2.6 Aplicaciones del maíz en la industria de alimentaria**

El maíz es un alimento básico con amplias posibilidades de uso en distintas partes del mundo, la aplicación que se le dé al maíz depende de ciertos factores como: la parte a utilizar, el estado de maduración del maíz, el tratamiento que se le da al grano, la región en la que se prepare, el tipo de maíz y los recursos con los que se cuente, entre otros.

El maíz tiene una diversidad de preparaciones enorme, tan solo en la molienda del grano es posible variar en el tamaño de la partícula, por una parte la harina gruesa se le conoce como sémola para polenta y pan de maíz, por otra parte en Egipto utilizan la harina fina para la elaboración de aish merahra, que es un pan plano de maíz (Rangel-Meza et al., 2004). El grano también suele ser fermentado en algunos países de África como Nigeria y Benín para elaborar *ogi*, que es una especie de yogurt o potaje con sabor agrio, o como parte de la malta para elaborar cerveza (Nout, 2009). Colombia y Venezuela, se utiliza para elaborar arepas principalmente (Imbachí-Narváez, Gutiérrez, Ortiz y Pachón, 2010).

En México el maíz se consume tierno, cocido o nixtamalizado en diferentes alimentos como: churritos, atole, tamales, gorditas y por supuesto tortilla que es la base de enchiladas, chilaquiles, tacos, quesadillas, entre otros. La masa de maíz nixtamalizado se puede fermentar envuelta en hojas de plátano para conseguir un alimento llamado pozol, con el cual se pueden fabricar diversas bebidas. Es importante recalcar que las harinas de maíz nixtamalizado brindan alimentos o productos similares a los que se producen con la masa tradicional con el beneficio del ahorro de tiempo y practicidad principalmente (Rangel-Meza et al., 2004).

La FAO (2001) describe algunos de los usos del maíz a nivel mundial y los clasifica en: enteros, secos molidos, cocidos en agua o solución alcalina y nixtamalizados:

❖ Grano entero

Los granos tostados se consumen mayormente en África.

El maíz duro y el maíz reventón en muchos países de África y Asia se colocan en arena caliente o en un recipiente caliente y se hacen reventar.

El maíz harinoso tostado es consumido en gran parte de la región andina y en los Estados Unidos de América.

Los granos hervidos se consumen enteros en algunos países de África.

Los granos hervidos y machacados hasta hacer una pulpa similar al arroz hervido se usan en África y Asia.

Los granos remojados, fermentados y molidos húmedos, llevados a un estado pastoso y fermentado de nuevo se consumen como potajes, tales como el “oji” o “uji”, en África.

❖ Granos secos molidos para producir harinas gruesas o finas:

En África se usa para hacer una pasta cocida, con o sin fermentación

En Asia la utilizan para preparar un pan muy fino sin fermentación llamado “chapati”.

El “injera” se prepara en Etiopía y es un pan similar al “chapati”, con fermentación de la masa.

Con la harina de maíz se preparan bizcochos, pan fermentado y pan de maíz.

❖ Los granos remojados y cocidos en agua o en solución de cal

En algunas partes de África y Asia el maíz simplemente se remoja, se cose en agua, pela para quitarle total o parcialmente el germen y se quiebran para posteriormente cocinarlos y consumirlo como arroz.

En países de América del sur como Venezuela y Colombia se consumen de forma similar a la anterior, la diferencia es que los granos llevan una molido más fino con el fin de preparar una pasta para “arepas” que son una especie de pan muy popular.

Las gachas de maíz, fermentadas o no, se preparan como bebidas dulces y son usadas sobre todo en África y América Latina.

Los granos cocidos en lejía o agua de cal después de haberles quitado el pericarpio, se usan en México para hacer sopas o platos similares como el “pozole”.

#### ❖ Productos de maíz nixtamalizado

Los granos remojados y cocidos en agua con cal son pelados y molidos hasta formar la “masa”; es usada en México en muchas formas para hacer “tortillas”, “tacos”, “tamales”, “corundas”, entre otros.

La masa anteriormente mencionada es secada para comercializarse natural o para hacer harinas compuestas adicionadas con otros elementos.

Almidón de maíz cocido, con o sin fermentación, para hacer varios platos en África.

El consumo de alimentos derivados o a base de maíz pueden considerarse productos positivos para la población, ya que el aporte nutrimental que muestran es de alto valor aunado a la tradición e historia que representan tan solo en México (Figura 8).

Figura 8. Consumo de maíz en diferentes presentaciones



Algunas formas de consumir tradicionalmente el maíz en México: A) nixtamalizado para sopas o tlacoyos, B) harina y C) cocido desgranado o en mazorca

### 1.3 Amaranto

La palabra amaranto significa inmarcesible, que no se marchita; y viene del griego, Amarantón de *a* (sin) y *marainein* (marchitar, palidecer) (Porr, 2009). Los indígenas llamaban al amaranto *huautli* o *huauquiliti*, y los conquistadores españoles lo denominaron “bledo” (Espitia, 1992). El amaranto, es uno de los cultivos más antiguos de Mesoamérica de igual importancia que el maíz y el frijol. Era considerada planta sagrada y producto alimenticio por los aztecas, mayas e incas, en zonas de México, Bolivia, Guatemala, Ecuador y Perú. Los primeros indicios del amaranto datan de 10 mil años atrás (Asociación

Mexicana del Amaranto, 2010). Sin embargo, la distribución del amaranto no tuvo los mismos alcances que los demás alimentos, debido a que durante la conquista española en México (1519), Hernán Cortés se encargó del traslado de diversas plantas como las anteriores mencionadas a excepción del amaranto, el cual se quedó en el continente. Este cultivo sufrió una decaída de consumo, pero en los últimos años presentó un resurgimiento a causa del reconocimiento de sus atributos, múltiples usos, resistencia climatológica y su composición química (Becker, Meyer, Wagoner y Saunders, 1992). Siendo, en especial, por la cantidad y calidad de proteínas, así como, aminoácidos que son considerados aptos para suplir parcialmente la ingesta de proteínas de origen animal (Kaur, Singh y Chand, 2010).

El amaranto también es conocido como un pseudocereal o falso cereal, debido a que tiene características similares a las de familia *graminácea* (cereales) que son las plantas que producen granos a partir de espigas, por ejemplo: trigo, cebada, maíz, avena; sin embargo, los considerados pseudocereales producen hojas anchas donde se dan los granos, ejemplo de ello es la quínoa y la chíá. Su semejanza reside en la producción de grano, el sabor del mismo y algunas de sus aplicaciones (Morales, Vázquez y Bressani, 2014).

Las ventajas que se derivan del amaranto no se limitan al aporte nutrimental, también se le atribuyen oportunidades de desarrollo que benefician al sector agrícola nacional, ya que el cultivo es considerado favorable debido a su relación siembra-producción. Además, en 2016, se le declaró como patrimonio cultural intangible de la ciudad de México por parte de la secretaría de cultura (Paul, 2016).

### **1.3.1 Descripción de la planta de amaranto**

El amaranto es una planta anual de tallos suculentos, que se lignifica conforme avanza su estado de maduración. Puede llegar a medir hasta tres metros de altura y presentar colores que varían desde los tonos verdes hasta el púrpura. Presenta inflorescencias erectas características de colores amarillos, naranjas, rojos o púrpuras dependiendo de la variedad y la maduración de la planta (Figura 9) (Nieto-Cabrera, 1989).

Los principales elementos utilizados del amaranto son las hojas y granos, los cuales aportan la mayor cantidad de nutrientes (Morales et al., 2014)

Figura 9. Planta de *Amaranthus*



Planta de amaranto con sus hojas en diferentes tonos de verde y sus inflorescencias en color rojo-púrpura.  
Fuente: Hortelano-pi, J.M., 2014

### 1.3.2 Clasificación taxonómica del amaranto

La clasificación taxonómica del amaranto es difícil debido a que en esta, se consideran características como la pigmentación que presenta y el tamaño de la planta, esto suele depender de la exposición a la luz solar y otras variables ambientales (Ramírez et al., 2010).

El amaranto cuenta con un organismo vegetal fotosintético, el cual taxonómicamente hablando (Cuadro 8) pertenece al reino *Plantae*, se clasifica dentro del subreino *Embriofitas* ya que descende de las algas verdes caracterizadas por adaptarse a la vida fuera del agua, se encuentra dentro de la división *Magnoliophyta* por contener las semillas en una hoja fértil portadora de óvulos, la clase *Magnoliopsida* describe el desarrollo de la planta que se refiere a la formación de dos cotiledones, la falta de pétalos y disposición de óvulos sobre una columna dentro del ovario indica que corresponde a la subclase *Caryophilidae*, orden *Caryophyllales* por ser una planta angiosperma ósea que tiene semillas, la inflorescencia agrupada en racimos, espiguillas o panículas describe a la familia *Amaranthaceae* y a la mayoría de las especies y variedades de amarantos.

Cuadro 8. Clasificación taxonómica del amaranto

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>Subreino</b>	<i>Embriofitas</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Subclase</b>	<i>Caryophyllidae</i>
<b>Orden</b>	<i>Caryophyllales</i>
<b>Familia</b>	<i>Amaranthaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Amaranthus</i>
<b>Subgénero</b>	<i>Acnida</i>
<b>Especie</b>	<i>Dubius</i>
	<i>A. hybridus</i>
	<i>A. lividus</i>
	<i>A. muricatus</i>
	<i>A. tricolor</i>
	<i>A. cruentus</i>
	<i>A. hypochondriacus</i>
<i>A. Caudatus</i>	

Modificado de: García Velazco, 2016

Morales et al. (2014) mencionan que la familia Amarantáceas comprende alrededor de 60 géneros y cerca de 800 especies, donde las principales son:

*A. dubius*: Es uno de los amarantos más variables morfológicamente hablando, esto debido a su hibridación con el *A. spinosus*, se cultiva en China, el sudeste de Asia y en las islas del Pacífico.

*A. hybridus*: Esta especie puede crecer a altitudes por arriba de 1300 m, se desarrolla de manera silvestre, es una planta que crece frondosamente y alcanza una altura de 1.4 m, es originaria de las zonas tropicales de América.

*A. lividus*: Se desarrolla bajo climas templados y sus hojas tienen un color característico en verde o rojo.

*A. muricatus*: Planta perenne y se caracteriza por sus hojas decumbrentes.

*A. tricolor*: Es consumida como verdura, tiene un aspecto parecido al de una espinaca y es una planta nativa de la India

*A. Caudatus*: Se cultiva en la región de Los Andes para el consumo del grano, pero también se comercializa como planta de ornato principalmente para Europa y Norteamérica.

*A. cruentus*: Se utiliza como planta ornamental, para la obtención de grano y el consumo como hortaliza. Mayoritariamente se cultiva en regiones húmedas de África (oeste) y América (norte y centro).

*A. Hypocondriacus*: es una de las más utilizadas dentro del ámbito alimenticio, tanto por su valor nutrimental como facilidad de reproducción y versatilidad de uso.

### 1.3.3 Morfología del amaranto

La familia *Amaranthaceae* es muy peculiar en comparación de otras plantas, ya que sus características morfológicas se distinguen del resto tanto por su tipo y color de inflorescencia, como por el tamaño de la semilla (Figura 10), mismos aspectos que incluso dentro de la misma familia cambian dependiendo de la especie (Escalante, 2010). La planta de amaranto se divide en cinco partes: raíz, tallo, hoja, inflorescencia y semilla.

Figura 10. Características de amaranto



Colores durante el desarrollo de la planta de amaranto y su semilla sin reventar  
Fuente: Muñoz-Cervera, 2014

El sistema radicular es axonomorfo, de la raíz principal se desprenden las raíces laterales menos desarrolladas, ya sea secundarias o terciarias mismas que en conjunto le dan el anclaje necesario para sostener el peso de la panoja y la planta en general. Este sistema

brinda una facilidad de captación de agua y nutrientes en comparación con otros (Nieto-Cabrera, 1989).

El tallo es cilíndrico de consistencia tierna que posteriormente se lignifica, se encuentra erecto en posición perpendicular a la tierra y puede llegar a medir desde 0.4 m hasta 3 m de altura. La coloración de esta parte de la planta es verde, las tonalidades de este cambian conforme avanza la maduración de la planta e incluso puede llegar a tomar rasgos rosados al momento de la floración (Peralta, 2009).

Las hojas normalmente tienen una forma romboidal, aovada o elipsoidal de aspecto liso sin pubescencias, con nervaduras pronunciadas, de color verde variando en sus tonalidades hasta llegar al amarillo en la etapa de madurez. Estas, pueden llegar a medir 20 cm de largo por 8 cm de ancho cada hoja y su distribución es opuesta o intercalada entre sí. (Nieto-Cabrera, 1989; Peralta, 2009)

Las inflorescencias del amaranto son muy vistosas debido a los colores que presentan que van desde los tonos púrpuras pasando por cafés y naranjas hasta llegar a los amarillos. Además, por la forma tipo panoja, las cuales pueden estar en posición erecta o decumbente y varían en tamaños desde 0.5 m hasta 0.9 m normalmente. (Nieto-Cabrera, 1989; Peralta, 2009)

En la semilla de amaranto destacan cuatro partes: el epispermo, que es la cubierta seminal constituida por células muy finas; el endospermo, al cual le corresponde la segunda capa; el embrión, es rico en proteínas y está formado por dos cotiledones; y el perispermo, que es la parte más rica en almidones y se encuentra en el centro de la semilla. El aspecto de la semilla cambia según la variedad que se especifique, por ejemplo la *A. Hypochondriacus* es de color dorado de forma lenticular y con un diámetro aproximado de 1mm, es menos dura y al exponerse a altas temperaturas revienta con facilidad (Peralta, 2009)

### **1.3.4 Estado geográfico actual del amaranto**

La distribución geográfica del amaranto es muy amplia, debido a que la planta se ha adaptado fisiológicamente para crecer y reproducirse en los diversos ambiente incluyendo los menos favorables, esto es posible ya que el proceso fotosintético del amaranto es diferente al de las plantas comunes, al permitir tener una alta eficiencia, aprovechamiento

de nutrientes y pérdida nula de carbono por fotorrespiración. Por lo que las plantas no se marchitan ni se secan en condiciones de relativa escasez de agua como ocurre en ambientes secos o con altas temperaturas, e incluso permite variar la condiciones de cultivo ya sea en zonas a nivel del mar como Puerto príncipe de Haití u Oruro Bolivia que se encuentra a 3710 m sobre el nivel del mar (Nieto-Cabrera, 1989)

Actualmente el amaranto se cultiva en diversos países de todos los continentes, sin embargo, la mayor producción se encuentra en América Latina, en países como: Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, México, Haití, Perú y Uruguay. La Oficina Regional de la FAO en coordinación con el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) de Perú y entidades de América Latina y el Caribe, realizaron estudios sobre la producción de los cultivos de amaranto en diversas regiones mostrando a Perú (15410 ton.) en primer lugar, en segundo México (4583 ton.) y Chile (4124 ton.) en el tercer puesto (Molares et al., 2014).

En México, los cultivos de amaranto se distribuyen ampliamente en regiones con clima tropical, subtropical y templado, es decir, montañas, desiertos, lagos, playas, etc. (Morales et al., 2014). Los principales lugares que se dedican al cultivo de esta planta y su producción en el año 2015 se muestran en el Cuadro 9, según los datos recuperados de SIAP-SAGARPA en su boletín del 2016.

Cuadro 9. Principales entidades productoras de amaranto y su volumen

<b>Puesto</b>	<b>Entidad federativa</b>	<b>Volumen (toneladas)</b>	<b>Variación (%) 2014-2015</b>
	Total nacional	8551	30.6
1	Tlaxcala	4795	36.6
2	Puebla	2,334	6.6
3	México	1,061	253.0
4	Ciudad de México	150	-6.7
5	Morelos	102	-66.3
6	Oaxaca	70	2.6
7	Guanajuato	20	NA
8	San Luis Potosí	20	336.0

Modificada: SIAP-SAGARPA, 2016.

Dentro de este listado resalta en primer lugar Tlaxcala que para el año 2015 produjo el 56% del volumen nacional, seguido por Puebla con el 18% y la Ciudad de México con el 13.6%.

El poblado de Santiago Tulyehualco de la delegación Xochimilco, continúa con su producción de amaranto mediante la forma tradicional, por el sistema de chinampas que ha sido utilizado por generaciones desde antes de la conquista española (SAGARPA-SIAP, 2010a; 2016b). Espitia (2010) señala que en México se cultivan principalmente las especies *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*, siendo estas dos en conjunto con la *A. Caudatus* cultivada en Perú y la región de los Andes, las especies utilizadas principalmente para consumo humano.

El amaranto es considerado un alimento íntegro, debido a su fácil acceso y bajo costo. Actualmente está presente en países donde su consumo es tradicional, además de otros como China, EE.UU. e India, que han comenzado su producción gracias a las diversas investigaciones acerca de sus propiedades nutricias, la producción y rendimiento del grano. (Escalante, 2010; Asociación Mexicana del Amaranto A.C., 2010))

### **1.3.5 Composición química del amaranto**

Desde hace más de treinta años el amaranto se reconoce como un alimento extraordinario, tanto así que en 1975, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos realizó un estudio extensivo con el fin de diversificar la base alimentaria global e indicó que el amaranto era uno de los 36 cultivos más completos del mundo (Morales Guerrero, Vázquez Mata y Bressani, 2009). La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (por sus siglas en inglés, NASA) seleccionó la semilla de amaranto para alimentar a los astronautas en misiones espaciales, ya que requieren alimentos que pesen poco, se digieran fácilmente y tengan un aporte nutricional significativo (Cifuentes, 2016).

Las propiedades nutrimentales del amaranto son principalmente carbohidratos, seguido de proteínas, posteriormente ácidos grasos insaturados y minerales como calcio, hierro, fósforo, manganeso, magnesio, sodio, entre otros (Becker et al., 1981; Sun, Wiesenborn, Tostenson, Gillespie, y Rayas-Duarte, 1997). Además, tiene la capacidad de reducir los niveles de colesterol en el organismo (Cai et al., 2004; Escudero et al., 2006; Arendt y Zannini, E., 2013). Cabe destacar que, dentro de la familia *amaranthaceae* hay una fluctuación en el aporte nutrimental dependiendo de la variedad, este aspecto se observa en el Cuadro 10 con tres de las especies más comunes: *A. Hypochondriacus*, *A. Caudatus* y *A. Cruentus*.

Cuadro 10. Macronutrientes en diversas especies de amaranto

<b>Componente</b>	<b><i>A. Caudatus</i> (%)</b>	<b><i>A. Cruentus</i> (%)</b>	<b><i>A. Hypochondyacus</i></b>
<b>Carbohidratos</b>	59.6–62.8	59.6–62.8	57.0
<b>Proteína cruda</b>	17.6–18.4	13.2–18.2	17.9
<b>Lípidos</b>	6.9–8.1	6.3–8.1	7.7
<b>Fibra cruda</b>	3.2–5.8	3.6–4.4	2.2
<b>Ceniza</b>	3.1–4.4	2.8–3.9	4.1
<b>Humedad</b>	9.5–11.6	6.2–8.8	11.1

Fuente: Cai et al., 2004.

Se han realizado varios estudios (Becker et al., 1981; Nieto-Cabrera, 1989; Hernández y Herrerías, 1998; Becerra, 2000; Escudero et al., 2006; Peralta, 2009; Kaur, Singh y Rana, 2010; Arendt, y Zannini, 2013) los cuales muestran el contenido nutrimental del amaranto en comparación con algunos cereales y pseudocereales, mismos que coinciden en presentarlo como la opción más completa para la nutrición humana. Por una parte, en el Cuadro 11 se muestra la comparación de los macronutrientes del amaranto con otros cereales, en el cual se observa un mayor porcentaje de proteína, fibra, lípidos (la mayoría insaturados) y minerales así como un menor contenido de carbohidratos proponiéndolo como una opción baja en calorías y humedad que ayuda a la conservación del alimento. Por otra parte, en el

Cuadro 12 se compara el contenido mineral del amaranto con otros cereales mostrando cantidades superiores en la mayoría de los casos.

Cuadro 11. Comparación del contenido macronutricional en diversos cereales (g/100g)

<b>Componente</b>	<b>Amaranto</b>	<b>Trigo</b>	<b>Maíz</b>	<b>Arroz</b>
<b>Carbohidratos</b>	59.6–62.8	66.9	67.7	75.4
<b>Proteína cruda</b>	17.6–18.4	14.0	10.3	8.5
<b>Lípidos</b>	6.9–8.1	2.1	4.5	2.1
<b>Fibra cruda</b>	3.2–5.8	2.6	2.3	0.9
<b>Ceniza</b>	3.1–4.4	1.9	1.4	1.4
<b>Humedad</b>	9.5–11.6	12.5	13.8	11.7

Fuente: Cai et al., 2004.

Cuadro 12. Comparación del contenido mineral en diversos cereales (mg/100g)

<b>Componente</b>	<b>Amaranto</b>	<b>Quinoa</b>	<b>Trigo</b>
<b>Calcio</b>	159.1 ± 26.10	47 ± 0.33	34 ± 1.53
<b>Magnesio</b>	248.2 ± 23.48	197 ± 6.66	144 ± 3.7
<b>Zinc</b>	2.87 ± 0.12	3.10 ± 0.10	1.2 ± 0.10
<b>Potasio</b>	508 ± 17.04	563 ± 38.44	431 ± 10.20
<b>Fósforo</b>	557 ± 46.16	457 ± 23.33	508 ± 20.74
<b>Hierro</b>	7.61 ± 0.83	4.57 ± 0.16	23.52 ± 0.10

Fuente: USDA/ARS, 2012.

### 1.3.6 Aplicaciones del amaranto en la industria alimentaria

Desde la época prehispánica los productos de origen vegetal han sido la base de la dieta mexicana tradicional e influye en la diversificación de la alimentación (Mc Clung, 2014). El amaranto (también conocido como Kiwicha en países de Sudamérica), es una fuente alimenticia importante, debido al uso integral de la planta durante todo su ciclo de vida (Flores-Perez, 2014) e incluso permite emplearlo como planta ornamental, colorante y en la industria cosmética.

En el siglo XVI antes de la llegada de los españoles los indígenas sólo utilizaban el grano amaranto reventado para la elaboración de ofrendas a los dioses con diferentes formas como: volcanes, animales, calaveras, entre otros; tras la llegada de los conquistadores y la iglesia católica a México el fraile San Martín de Valencia al tratar de evangelizarlos intercambió una de las ofrendas de amaranto, le agregó miel y cuando estuvo lista los indígenas lo probaron y brincaron de alegría, sin darse cuenta que por medio de este sencillo alimento les inculcaron una religión y se creó uno de los principales productos a base de amaranto reconocido a nivel nacional, “la alegría” (

Figura 11)(PROFECO, 2010).

Figura 11. Dulce popular mexicano



Dulce de tradicional llamado “Alegría” preparado con semillas de amaranto reventado, miel y/o chocolate, producido principalmente en Santiago Talyehualco de la delegación Xochimilco, en la ciudad de México.

Diversos autores (Nieto-Cabrera, 1989; Peralta, 2009; Zraly et al., 2004) mencionan los principales usos del amaranto como un producto alimentario:

- ❖ Grano reventado: Con ellos se realizan las tradicionales alegrías, palanquetas, galletas, cereal, granola, frituras y malteadas entre otros.
- ❖ La harina: es un subproducto procedente del grano reventado y tostado que se emplea en la elaboración de: atole, tamales, tayuyo, empanadas, panadería y repostería como mazapán, flan galletas, etc.
- ❖ El grano germinado: también se utiliza en: Cereal de desayuno, complemento alimenticio de licuados y otras preparaciones.
- ❖ Las hojas tiernas: son consumidas como un tipo de quelites a una etapa de maduración temprana no mayor a 50 días desde la siembra, procurando aplicar un método de cocción en alimentos como: Ensaladas, sopa, tayuyos, quintonil, etc.
- ❖ Alimentación de animales (cerdos, conejos, corderos): como concentrado de amaranto fresco o deshidratado para engorde.

Cabe mencionar que el uso y consumo de un cierto tipo de alimentos está sujeto a las condiciones sociales y culturales que van cambiando o permanecen en la población además de las características intrínsecas del mismo (Becerra, 2000).

#### 1.4 Botanas

Las botanas se definen como una comida pequeña y ligera que cumple con las condiciones de: facilidad de manipulación, practicidad, accesibilidad y principalmente satisfacción de la

sensación de apetito momentáneamente (Hurtado, Escobar y Estévez 2001; Navarrete, 2006). Generalmente no se consideran como verdaderos alimentos debido a que se cuestiona su bajo valor nutricional, sin embargo estos forman parte de las prácticas alimentarias de la mayoría de la población juvenil y adulta a nivel mundial, se estima alrededor de 6 mil millones de niños consumidores botanas (Rodríguez-Miranda et al., 2006; Potter et al., 2013). Por tal motivo, actualmente se ha propuesto modificarlas de acuerdo con las exigencias de los consumidores y las necesidades de los mismos (Navarrete, 2006), que da paso a una evolución de las botanas de acuerdo al desarrollo y complejidad de estos, teniéndose así tres generaciones.

#### 1.4.1 Evolución de las botanas

La primera generación integra productos de mínimo procesamiento, principalmente, derivados de granos, verduras, frutas u otros productos naturales. En las que se clasifican las palomitas, cacahuates, nueces, papas fritas, frutas o vegetales frescos o deshidratados (Figura 12) (Barraza, 1993).

Figura 12. Botanas de la primera generación



Alimentos mínimamente procesados como nueces, pistaches, fruta deshidratada, ente otro.

Posteriormente se encuentra la segunda generación de botanas, la cual es considerada como la más popular en el mercado. Abarca las elaboradas a partir de harinas simples, mezcladas, cocidas y formadas al utilizar un extrusor (frío o en caliente). Las condiciones de humedad (<15%), temperatura, presión y trabajo mecánico por el movimiento de cizalla del tornillo sin fin, deben de estar bien establecidas ya que son puntos críticos durante el proceso. Después es necesario el secado del producto (horneado, fritura, tostado, etc) con el fin de conseguir una humedad máxima de 4% y características físicas (porosidad, expansión, dureza superficial, etc.) y sensoriales (crujencia, fractibilidad, dureza, etc.) aceptables al

público (Figura 13) (Rodríguez-Miranda et al., 2006; Castillo-Flores, 2013; Ramos-Díaz et al., 2015).

Figura 13. Productos de la segunda generación



Par de botanas de maíz extruidas

La tercera generación de botanas es la más reciente, esta categoría se integra por productos extruidos adicionados con alimento o sustancia. De esta manera las botana presentan un valor agregado al considerarse un vehículo de nutrientes (Hollingsworth, 2001). Esta categoría, involucra una extensa variedad de productos con una elaboración más compleja en cuanto a formas, composición nutrimental y características organolépticas. Esto mediante la utilización y/o mezcla de harinas de cereales crudos, almidones simples o modificados, aceites vegetales, saborizantes, fibra, emulsificantes, colorantes, gomas o coloides entre muchos otros más. Este tipo de productos requieren un proceso adicional de secado, principalmente se opta por el horneado debido al cuidado del aspecto nutrimental para procurar que no sea solo un paliativo alimentario, sino un producto de calidad nutricional considerable (Figura 14) (Repo-Carrasco, Julio-Pilco, y Encina-Zelada, 2011; Rojas-Molina et al., 2011; Valenzuela-Lagarda et al., 2017).

Figura 14. Botanas de la tercera generación



Dos botanas adicionadas: la extruida con chía y el tipo totopo con linaza

#### **1.4.4 Proceso de extrusión**

Actualmente la extrusión de alimentos es una de las técnicas más utilizada en el ámbito industrial. Se aplicó por primera vez en los alimentos a mediados del siglo XIX, al intentar embutir carne picada en tripas para la elaboración de un tipo de chorizo utilizando un extrusor de pistón, sin embargo con el paso del tiempo este proceso ha sido perfilado por el área de los cereales instantáneos para el desayuno y recientemente para el desarrollo de botanas (Cuatzo-Lozano et al., 2010; Gómez-López et al., 2013).

La técnica implica el formado o moldeado (ruedas, cuadros, letras, bolas, figuras, hilos y demás) de un producto a fin de conseguir la estructura y características especificadas, cuando se refiere a un extrusor en frío. También, se utilizan los extrusores de tratamiento térmico, los cuales por medio del paso forzado de materiales dentro del cilindro con un tornillo sinfín que genera energía mecánica por fricción, transforma un material sólido (granulado) en uno viscoso, plastificado o expandido. Debido al alineamiento de moléculas, creando la formación de nuevas estructuras, además, por la desnaturalización de proteínas y la gelatinización del almidón durante el transcurso del cilindro hasta la salida (boquilla). Los cereales, granos, tubérculos y leguminosas en forma de harina son los más utilizados para este proceso debido su alta concentración de almidones, los cuales tienen un buen desarrollo bajo estas condiciones y además brindan olor, color y sabor al producto final (Delgado-Nieblas, et al., 2011; Gómez-López et al., 2013).

#### **1.4.5 Ventajas e importancia de las botanas extruidas**

Cuatzo-Lozano et al., 2010; Gómez-López et al., 2013 han expuesto algunas de las ventajas que brinda el proceso de extrusión y por las cuales se popularizó en los últimos años y han orientado a la industria a una nueva tendencia en la elaboración de alimentos; entre esas ventajas se hallan las siguientes:

- ❖ Bajo costo: los requerimientos de espacio para el trabajo y procesamiento son menores que en otros sistemas de cocinado y formado.
- ❖ Características de los productos: los alimentos pueden ser elaborados en una gran variedad de formas, texturas, colores y apariencias.

- ❖ Eficiencia del uso de la energía: La cocción del alimento se lleva a cabo con escasa humedad y se aprovecha íntegramente la temperatura, por lo que se requiere un menor tiempo de secado.
- ❖ Nuevos alimentos: la mayoría de los ingredientes que incluyen proteínas y carbohidratos pueden ser procesados para aumentar la variedad de los productos.
- ❖ Alimentos no efluentes: hay poca pérdida de sólidos, lo que reduce la emisión de efluentes desde la planta de procesamiento.
- ❖ Proceso automático: hay una gran capacidad de producción.
- ❖ Calidad y uniformidad: en la cocción del alimento por existir un control preciso del tiempo de residencia del producto e historia de la temperatura.
- ❖ Ecológico: no incorpora contaminantes durante la elaboración.
- ❖ Versatilidad: posibilidad de emplear una amplia gama de ingredientes.

Tras la preocupación de la ciencia por la salud de la población se han creado tecnologías alimentarias que mejoran los métodos, procesos y materias primas para el desarrollo de nuevos productos, con características tanto nutrimentales como organolépticas adecuadas según el sector de consumidores al que se dirija, mismos que se han encargado de impulsarlos considerablemente a la industria alimentaria hasta el lugar en el que se encuentra en la actualidad (Gómez-López et al., 2013).

Kvidah, en 2016, realizó una publicación donde se expresa la importancia de los productos extruidos en Estados Unidos y el aumento de consumo de los mismos, principalmente en los últimos años por la generación denominada *millennial*. En general, ha aumentado el interés de la población por botanas más saludables que incluyan ingredientes naturales y de calidad como frutas, verduras y granos. Además se hizo referencia al valor que tienen las características organolépticas del producto sobre la preferencia y aceptación por parte del consumidor.

### **1.5 Evaluación sensorial**

Es una de las áreas de la industria de alimentos que surge como disciplina para medir la calidad de los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos por parte del consumidor. El instituto de alimentos de EE. UU. define la evaluación sensorial como la disciplina científica utilizada para medir, analizar e interpretar las percepciones de

los sentidos de la vista, olfato, tacto, oído y gusto generadas por las características organolépticas del alimento y las sustancias (Lawless y Heymann, 2010).

Esta valoración permite conceptualizar los atributos, gustos o aversiones de un producto mediante la opinión de un juez o posible consumidor, con el fin de predecir las actitudes de las personas en una escala mayor. Para la aplicación de este tipo de pruebas es necesario un panel entre 70 a 500 personas dependiendo de la población y tipo de estudio. Estas se pueden llevar a cabo en instalaciones de tipo escuela, hogar, e incluso centros comerciales y mercados. (Ramírez-Nava, 2012). Se debe de contar con una atmosfera agradable, el material necesario para la realización de la prueba, como agua, servilletas, vasos, cucharas, entre otros que dependerán de la muestra a analizar, además es importante que los panelistas hayan comido anteriormente para evitar datos erróneos (Meilgaard, Carr y Civille, 2006).

Para el análisis de los datos, es necesario ponderar las respuestas de tal manera que la respuesta positiva sea el número mayor en la escala (5) y la negativa el menor (1). Posteriormente se debe de realizar el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba post hoc de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para diferenciar si existen diferencias en las muestras según los valores asignados (Ramírez-Nava, 2012).

### **1.5.1 Pruebas afectivas**

Son pruebas donde el panelista expresa el nivel de agrado, aceptación y preferencia de un producto alimenticio. Se evalúan mediante *pruebas de preferencia* (de ordenamiento y pareada), *pruebas de satisfacción* mediante escalas que van de 9, 7, 5, a 3 puntos dependiendo el nivel de comprensión y razonamiento del panel. Estas suelen hedónicas verbales (desde me gusta muchísimo hasta el me disgusta muchísimo) y escala hedónicas faciales (se utiliza cuando el panel está conformada por niños, personas adultas con dificultades para leer y concentrarse) (Hernández, 2005). Estas son las más conocidas en el ámbito, ya que indican directamente el uso real de un producto (Lawless y Heymann, 2010).

### **1.5.2 Pruebas descriptivas**

Estas pruebas permiten conocer las características de un alimento y las exigencias del consumidor. Con el fin de realizar las modificaciones necesarias ya sea en la formulación, proceso o técnica para que el producto final tenga los atributos requeridos y sea aceptado por el consumidor. Para la aplicación de esta se necesitan de 8 a 10 panelistas (entrenados), los cuales a su vez evaluarán la percepción o agrado de las características de sabor (amargo, dulce, ácido, salado), textura (porosidad, granulosidad, humedad, dureza, persistencia bucal, entre otros) y apariencia (brillantez, opacidad y tonalidades de color) del producto. (Hernández, 2005).

### **1.6 Evaluación nutrimental**

Es la determinación de la cantidad de nutrientes presentes en un alimento con el fin de conocer el valor de la ingesta, o acondicionar la dieta conforme a las necesidades alimentarias de los individuos. Esto se realiza mediante la interpretación de información basada en evidencia científica, principalmente cuando se trata de botanas de la tercera generación (Delgado-Nieblas et al., 2011). Diversos autores han realizado este tipo de evaluaciones a sus productos con el fin de garantizar un producto de calidad alimentaria (Rodríguez-Miranda et al., 2010; Galarza, 2011; Mazzeo et al., 2013)

La evaluación nutrimental es una parte fundamental en el desarrollo de un producto alimenticio, incluso forma parte de las normas oficiales mexicanas (NOM-051-SCFI/SSA1-2010), al establecer el etiquetado nutrimental como parte de ella.

## Capítulo 2: Método

El diseño del presente estudio experimental evalúa una botana de la tercera generación mediante tres ejes centrales: A) desarrollo de un producto extruido tipo churrito adicionado con sólidos granulares de nopal en tres diferentes concentraciones (4, 6, 8%) y un testigo (0%), B) valoración nutrimental y C) análisis sensorial del mismo.

### Población y muestra

Para el análisis sensorial se contó con dos fases metodológicas, la primera fue en el año 2015, cuando se aplicó la prueba de aceptación en una escuela primaria de tiempo completo de Ensenada, Baja California a 25 sujetos de cuarto y quinto grado con edades entre los 8 y 11 años. Además, en la Escuela de Enología y Gastronomía (EEG) de la UABC se aplicó una prueba descriptiva a 15 adultos jóvenes estudiantes de cuarto y quinto semestre de la licenciatura en Gastronomía. Esta fase se reconoce como “piloto” debido a que el diseño del panel evaluador estuvo integrado por posibles consumidores habituales del producto. Dicha prueba cumplió con el mínimo establecido (10 personas) para asegurar que los resultados sean significativos y realizar modificaciones o mejoras fundamentadas (Surco, 2011);

La segunda fase se realizó en el año 2017, donde se replicaron ambas pruebas, la de aceptación se realizó en la misma escuela primaria a la que se había acudido, la cual cuenta con una población escolar total de 334 sujetos divididos en doce grupos de primero a sexto grado. Se calculó una muestra representativa de dicha población que correspondió a 90 estudiantes seleccionados de forma aleatoria de todos los grados. Asimismo, la prueba descriptiva se llevó a cabo en la EEG con la colaboración de 22 estudiantes que cursan la unidad de aprendizaje *armonía con alimentos y vino*, mismos que son considerados jueces semientrenados debido a la experiencia en degustación y caracterización organoléptica de productos alimenticios.

## **2.1 Desarrollo de la botana tipo churritos adicionados con SGN**

### **2.1.1 Acondicionamiento del amaranto**

Materiales y equipo para elaboración de harina

- ❖ Amaranto reventado
- ❖ Licuadora bar blender marca Warning Comercial, modelo BB150
- ❖ Tamiz de malla fina (TM1)
- ❖ Tamiz malla extrafina (TM2)
- ❖ Espátula de silicón

Materiales y equipo para tratamiento hidrotérmico

- ❖ Harina de amaranto (Previamente elaborada)
- ❖ Agua purificada
- ❖ Termómetro digital marca Taylor modelo 9842
- ❖ Charola lisa tipo panadera (42cm x 30cm x 2cm)
- ❖ Papel aluminio
- ❖ Aspersor plástico de 500 ml de capacidad
- ❖ Espátula miserable de silicon
- ❖ Licuadora bar blender marca Warning Comercial, modelo BB150
- ❖ Tamiz de malla fina (TM1)
- ❖ Tamiz malla extrafina (TM2)

Método para la elaboración de harina de amaranto

En el laboratorio de producción de la EEG se realizó la molienda de 3 kg de amaranto reventado con licuadora en tandas de 100 a 150 gr cada una intervenidas continuamente para remover el amaranto, con el objetivo de facilitar el trabajo de trituración y evitar la formación de gránulos grandes debido al calentamiento del producto. Después de un minuto aproximadamente, se procedió a tamizar el producto en el TM1 con ayuda de la espátula hasta tamizar todo el contenido, mismo que se vertió en el TM2 hasta que el producto cruzara a través de él. Cabe mencionar que de no tener el tamaño necesario para atravesar alguno de los dos tamices se repetía la operación las veces necesarias hasta

terminar con el total del amaranto obteniendo sólidos granulares de un tamaño pequeño y uniforme (Figura 15).

Figura 15. Elaboración de harina de amaranto



Proceso donde se identifica A: licuadora utilizada para la molienda del amaranto, B: amaranto reventado, C: amaranto pasado por el TM1, D: amaranto molido después de cruzar en TM2, E: TM1 y F: TM2

Dentro de las actividades de acondicionamiento del amaranto, se realizó la pregelatinización del almidón por medio de un tratamiento hidrotérmico a una baja temperatura, propuesto por Garzón (2006), Majzoobi, Kave y Farahnaky (2016) y García-Velazco (2016), para modificar físicamente el ordenamiento de las cadenas de almidón (amilosa). Estas pasaron de un estado amorfo a uno meta estable y permitió retener la amilopectina dentro del grano para evitar la viscosidad excesiva del amaranto a bajas temperaturas. Las cuales, en este caso, impiden la manipulación del mismo al crear una masa viscoelástica muy resistente como la que se observa en la Figura 16.

Figura 16. Amaranto hidratado sin tratamiento hidrotérmico



Masa resistente de amaranto hidratado y trabajado mecánicamente por un minuto

## Metodología para tratamiento hidrotérmico de la harina de amaranto

Se realizó el tratamiento hidrotérmico a 2 kg de harina de amaranto (Figura 17). El primer paso fue hidratar con un porcentaje de 21% en Vol. de agua (% V/m) a una temperatura de 70°C mediante aspersión y mezclado en batidora por 10 minutos evitando la formación de grumos. Como segundo paso se extendió la harina en tandas de 150 gr en charolas de aluminio (42 cm largo x 30 cm ancho x 1 cm de altura), procurando tener una capa homogénea y delgada que cubrió toda la superficie de la misma. Posteriormente, se tapó con papel aluminio, se metió al horno a 60°C durante dos horas con intervalos de 30 minutos para mezclar arbitrariamente el contenido de la charola y evitar la formación de grumos para deshidratar homogéneamente la muestra. Pasadas las dos horas de tratamiento se destapó la charola, con la finalidad de disminuir el tiempo de secado y alcanzar la mínima humedad posible. La harina tratada se dejó enfriar a temperatura ambiente para volverla a moler en la licuadora (debido a la formación de algunos aglomerados en la harina) y pasarla nuevamente por el TM1 y TM2, para finalmente empacar la harina de amaranto al vacío.

Figura 17. Tratamiento hidrotérmico



Proceso del tratamiento hidrotérmico en seis imágenes. A: mezclado e hidratación de la harina, B: pregelatinización por aplicación térmica, C: mezclado arbitrario, D: secado de la harina, E: segunda molienda y tamizado, F: empacado al vacío

### 2.1.2 Proceso de elaboración de la botana tipo churrito

Para el desarrollo de las botanas se consultaron diversos autores (Rojas-Molina, 2011; Castillo-Flores, 2013; García-Velazco, 2016) que sirvieron de apoyo para establecer la técnica a utilizar para adecuarla a las condiciones, necesidades y recursos disponibles en el presente estudio.

### 2.1.2.1 Prueba piloto

Materiales y equipo:

- ❖ Harina de maíz nixtamalizado (HMN)
- ❖ Sólidos granulares de nopal (SGN)
- ❖ Agua purificada
- ❖ Sal yodada
- ❖ Aceite vegetal
- ❖ Báscula digital marca torrey modelo L-EQ 5/10
- ❖ Duya plástica tipo jeringa (15 cm de largo x 3 cm de diámetro)
- ❖ Sartén de acero inoxidable marca de Buyer (28 cm de diámetro x 5 cm de altura)
- ❖ Termómetro digital marca Taylor modelo 9842
- ❖ Papel secante

Las cantidades utilizadas para la formulación de las botanas tipo churrITOS se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Formulación de botana tipo churrITO

0%	4%	6%	8%	Unidad	Ingrediente
0,5	0.480	0.470	0.460	kg	HMN
1	1	1	1	kg	Aceite vegetal
0.71	0.76	0.76	0.76	L	Agua
0.02	0.02	0.02	0.02	kg	Sal yodada
0	0.020	0.030	0.040	kg	SGN

#### Método de manufactura

El procedimiento para la producción de las botanas tipo churrITO consistió en la mezcla de las materias primas consideradas secas (HMN, SGN, sal) manualmente durante un minuto, seguido de la incorporación del agente húmedo (agua) mientras se mezcla constantemente hasta formar una masa homogénea, misma que se colocó en la duya plástica en tandas de 30 a 50 gr como máximo para realizar el moldeo. Posteriormente, se cortaron los churrITOS a una longitud aproximada de 4 cm a 6 cm y finalmente se sometieron a fritura en aceite a

una temperatura de 150 a 180°C por 5 min. Una vez que se tornaron color café claro se retiraron y dejaron reposar en papel secante para quitar exceso de aceite. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se almacenaron en bolsas plásticas selladas al vacío (Figura 18).

Figura 18. Proceso de elaboración de churritos para la prueba piloto (Fritura)



Etapas del proceso de elaboración: A) pesaje de materias primas, B) Fritura de la masa formada y C) producto final. (Prueba piloto).

### Modificaciones en la elaboración de los churritos

Fue necesario realizar cambios en el desarrollo de la botana, con el fin de mejorar el producto en sus características organolépticas, nutrimentales y la eficiencia del proceso mismo:

**Formulación:** Se modificó la composición de la botana al añadir harina de amaranto reventado para nivelar el amargor proveniente de la adición de nopal, sin tener que cambiar las concentraciones establecidas previamente. Además se redujo la proporción de sal por cuestiones nutrimentales y para mejorar el sabor.

**Moldeo:** El proceso llevado a cabo en la prueba piloto, no fue funcional para el desarrollo de la botana a gran escala, debido a que no era posible su estandarización. Además, requería mayor mano de obra, tiempo y espacio. Por lo cual se optó por emplear la técnica de extrusión en frío.

Para la implementación de esta técnica fue necesario bajar la cantidad de humedad incorporada a la formulación debido a que en este proceso se le aplica fuerza mecánica a la materia y por ende modifica la estructura de la masa.

**Cocción:** Este paso era realizado mediante la técnica de fritura profunda ya que es la utilizada tradicionalmente, sin embargo, en función de mejorar el producto al minimizar el

contenido lipídico de los churritos, se prefirió cambiar la técnica de secado por medio de horno.

### 2.1.2.2 Prueba representativa

Materiales y equipo:

- ❖ Harina comercial de maíz nixtamalizado (HMN)
- ❖ Sólidos granulares de nopal (SGN)
- ❖ Harina de amaranto (HA)
- ❖ Agua purificada
- ❖ Sal yodada
- ❖ Báscula digital marca Torrey modelo L-EQ 5/10
- ❖ Batidora marca Kitchenaid
- ❖ Molino de alimentos (accesorio de mezclado) marca Kitchenaid
- ❖ Boquilla de salida (5 mm) marca Kitchenaid modelo FGA
- ❖ Horno marca Rational modelo 201

Las cantidades utilizadas para la formulación de las botanas tipo churritos se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14 Formulación de botana tipo churrito

0%	4%	6%	8%	Unidad	Ingrediente
0.7	0.672	0.658	0.644	Kg	HMN
0.3	0.288	0.282	0.276	Kg	HA
0.4	0.4	0.4	0.4	L	Agua purificada
0.01	0.01	0.01	0.01	Kg	Sal yodada
0	0.04	0.06	0.08	Kg	SGN

### Método de manufactura

El procedimiento a desarrollar para la producción de las botanas tipo churrito (Figura 19) consiste en la mezcla de las materias primas consideradas secas (HMN, HA, SGN, Sal) durante dos minutos en la batidora, seguido de la incorporación del agente húmedo (agua)

por medio de un aspersor durante seis minutos, para generar una masa granulada, misma que se coloca en la máquina de extrusión en series de 250 g a 300 g como máximo para el moldeo de los churritos, posteriormente se cortan para obtener una longitud aproximada de 4 cm a 6 cm y finalmente se hornean a una temperatura de 200°C por 13 min en charolas perforadas (tipo rejillas) para poder, finalmente, almacenarlos en bolsas plásticas selladas al vacío (Figura 20).

Figura 19. Elaboración de churritos a base de maíz y amaranto adicionados con SGN

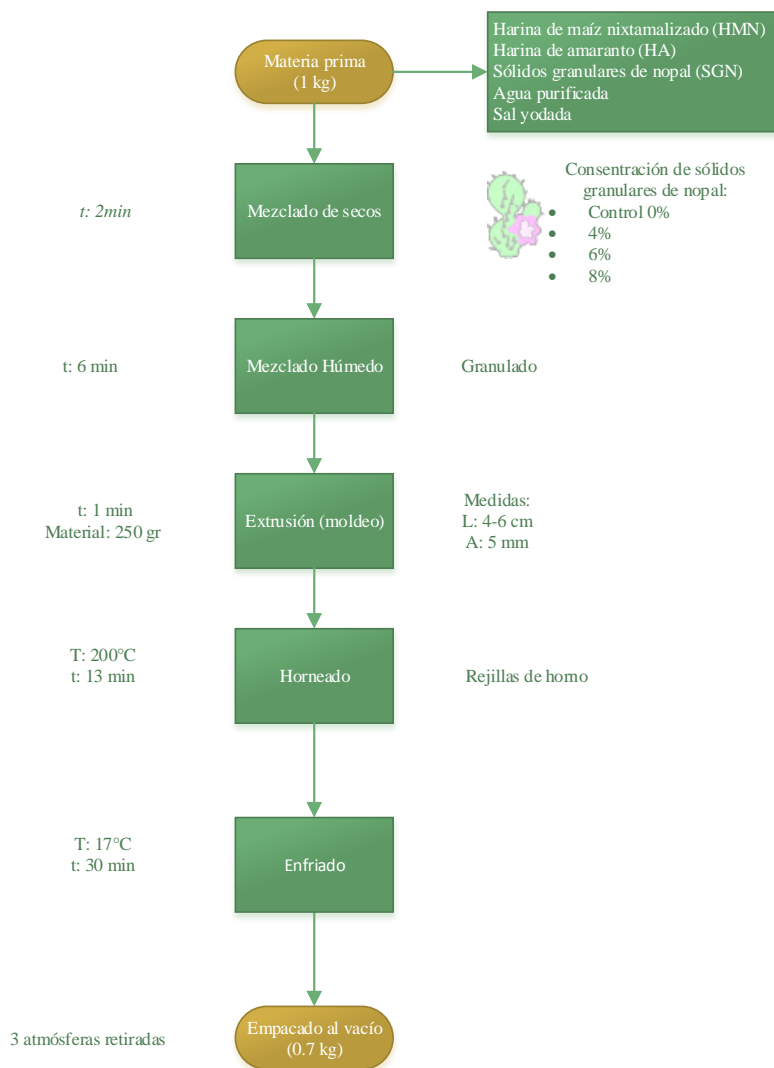


Figura 20. Proceso de elaboración de la botana tipo churrito (representativa)



Se observan algunos de los pasos para la producción de los churritos de maíz y amaranto adicionados con SGN. A: mezclado húmedo, B: extrusión, C: corte de la botana, D: homeado, E: producto finalizado

## 2.2 Evaluación sensorial

### Instrumentos

Se adecuó el instrumento utilizado para pruebas descriptivas propuesto por Espinosa Munfagás en el 2007 e Irriarte en el 2005, el cual consistió en la evaluación de las características de: sabor (salado, dulce, ácido o amargo), color (opaco o brillante) y por la textura en la etapa tres etapas: inicial (dureza y fractibilidad), intermedia que se refiere a la masticación (humedad, grasa, granulosis) así como de la percepción final o residual (trozos pequeños y recubrimiento de boca). Esta prueba es indicada para conocer los parámetros organolépticos que se perciben por un adulto consumidor del producto (Anexo 1).

Para la evaluación de aceptación también se adaptó un instrumento (Espinosa Munfagás, 2007, Galarza, 2011; Potter et al., 2013; Mazzeo et al., 2014) que tiene como propósito indicar el grado de satisfacción que tiene el producto por parte de los posibles consumidores, los cuales en este caso eran niños de 6 a 12 años por lo cual dicha prueba es basada en una escala hedónica facial o gráfica con categorías desde el “me gustó muchísimo” hasta el “me disgusta muchísimo” expresada con imágenes (Anexo 2).

Además se realizó un consentimiento informado el cual declaraba al participante y/o a su tutor legal el objetivo del estudio, los productos utilizados para evitar la colaboración de personas con alergias a ellos, y de igual manera exponía la participación voluntaria del sujeto y su posibilidad de abandonar la prueba en todo momento (Anexo 3 y Anexo 4).

## **Criterios de inclusión**

**Autorización:** Los sujetos deberán presentar el consentimiento informado firmado por ellos mismos o por el tutor legal (menores de edad) según sea el caso, con el fin de asegurar que el participante no es alérgico a ninguno de los ingredientes presentados y se establece la colaboración voluntaria del mismo.

**Disponibilidad:** Los directivos programaron y asignaron un horario donde a los participantes estuvieran disponibles durante un estimado de 30 minutos.

## **Criterios de exclusión**

**No autorización:** El no presentar debidamente en tiempo y forma el consentimiento informado así como la negación del permiso por parte del participante o del tutor legal.

**Participación involuntaria:** si el sujeto decide no participar voluntariamente en la prueba.

### **2.2.1 Prueba descriptiva**

La prueba piloto se realizó en el 2015, en una sala de evaluación sensorial de la EEG (Figura 21), a cada participante se le proporcionó agua, servilletas, un lápiz, los cuestionarios y las muestras previamente separadas y codificadas con un número aleatorio de tres dígitos.

Figura 21. Acondicionamiento de la sala para la aplicación de la prueba descriptiva



Se les proporcionó el consentimiento informado a los participantes del estudio, una vez que estuvieron de acuerdo, lo firmaron y entregaron. Posteriormente se procedió a la aplicación de la prueba descriptiva de características organolépticas, donde el acomodo de los sujetos fue de forma que tuvieran el menor contacto visual posible. La primera indicación fue llenar el cuestionario con sus datos personales, la segunda enjuagar la boca con un poco de agua para evitar la presencia de elementos ajenos que pudieran contaminar la muestra. La

siguiente instrucción fue probar la mitad de la muestra y por consiguiente seleccionar el nivel de percepción de los parámetros de sabor, textura y color indicados en el cuestionario, y con el resto del producto corroborar su respuesta. Este procedimiento se llevó a cabo con cada una de las muestras (testigo, 6%, 4%, 8%). Por último, se les preguntó a los participantes sobre la preferencia de las muestras. Además, se encontraba una sección de comentarios opcional para cualquier aspecto que desearan compartir.

Para la prueba representativa se llevó a cabo el mismo procedimiento anteriormente mencionado.

### **2.2.2 Prueba de aceptación**

Para conocer la reacción y consideración de las botanas tipo churrito se aplicó una prueba piloto de aceptación en el 2015, que clasifica las muestras con relación a la preferencia que se tiene por la misma o su nivel de satisfacción. Esta prueba se aplicó a estudiantes de una escuela primaria de tiempo completo, en la cual se trabajó con el permiso y apoyo de los directivos. Acordada la fecha, se repartieron los consentimientos informados a los tutores legales de los niños y niñas para autorizar su participación en el estudio.

Antes de la aplicación de la prueba, se preparó la sala asignada por la escuela para la realización del estudio (Figura 22). A los participantes se les proporcionó: agua, cuestionarios, lápices, servilletas y las muestras previamente separadas y codificadas con un número aleatorio de tres dígitos.

La prueba se aplicó a las 10:30 am, debido a que es un horario posterior al recreo donde los estudiantes desayunan. El ambiente se controló para tratar de evitar la mayor cantidad de contaminación de resultados y datos erróneos. Por lo que, las mesas y asientos fueron acomodadas para procurar el menor contacto visual posible. Al igual que en la prueba descriptiva, la primera indicación fue llenar el cuestionario con sus datos personales, la segunda enjuagar la boca con un poco de agua para evitar la presencia de elementos ajenos que pudieran contaminar la muestra, y la tercera instrucción fue probar la mitad de la muestra. En este caso se indicó seleccionar el nivel de aceptación que se presentaba desde: 1="Me disgustó muchísimo" (MDM), 2="Me disgustó" (MD), 3="Ni me gustó ni me disgustó" (NMND), 4="Me gustó" (MG) y 5= "Me gustó muchísimo" (MGM) y con el

resto del producto corroborar su respuesta. Este procedimiento de igual manera se llevó a cabo con cada una de las muestras (testigo, 6%, 4%, 8%) y finalmente la sección de comentarios opcionales.

La prueba representativa que se aplicó en el presente año, siguió el mismo protocolo mencionado con anterioridad (Figura 19). Sin embargo fue necesario segmentar los 90 sujetos en grupos de 9 a 13 participantes como máximo, para procurar la homogeneidad en las edades con el fin de agilizar la realización del estudio y evitar datos erróneos por contaminación mediante la atención personalizada hacia los participantes. Cabe mencionar que durante la aplicación de la prueba se contó con la presencia de un médico para la prevención y apoyo en cualquier contingencia que se pudiese presentar.

Figura 22. Prueba de aceptación en la escuela primaria



Momentos previos a la aplicación de la prueba, donde se tuvo la oportunidad de preparar las muestras y acondicionar el lugar con el apoyo de un estudiante de la licenciatura en gastronomía.

### 2.3 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las pruebas descriptivas y de aceptación fueron capturados en el programa IBM SPSS V.19.0, (IBM SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) para determinar la frecuencia de las respuestas obtenidas en cada una de las concentraciones (0%, 4%, 6% y 8%) y así conocer la preferencia de los sujetos, además se aplicó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) de una vía con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$  en conjunto con la prueba post hoc de *Tukey*. Esto con el fin de identificar si los participantes de la prueba notaron una diferencia significativa entre concentraciones y de caracterizar sensorialmente los parámetros organolépticos de las botanas tipo churrito de maíz y amaranto adicionada con SGN (Galarza, 2011; Mazzeo et al., 2014).

## 2.4 Evaluación nutricional

La evaluación se realizó mediante el cálculo del contenido nutricional de ingredientes que componen la botana tipo churrito. Se tomaron los valores propuestos por Chávez (2013), los cuales se describen en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Contenido nutricional de alimentos (maíz, amaranto y SGN)

<b>Componente</b>	<b>Harina de maíz nixtamalizada</b>	<b>Harina de amaranto</b>	<b>Sólidos granulares de nopal</b>
<b>Proteína (g)</b>	7.1	16.45	11.73
<b>Lípidos (g)</b>	3.78	7.2	1.89
<b>Fibra (g)</b>	1.8	7.5	55.05
<b>Calcio (mg)</b>	140	292	3260
<b>Fósforo (mg)</b>	238	517	280
<b>Sodio (mg)</b>	1	380	0

### Capítulo3: Resultados

En el Cuadro 16 se muestra brevemente las características de los sujetos que colaboraron en el presente estudio, el cual comprende dos pruebas en cada fase.

Cuadro 16. Características de los participantes del estudio

Fase	Prueba (n)	Género		Edades (n)					
		Femenino	Masculino						
1. Piloto	Descriptiva (15)	53%	47%	19	13% (2)				
				20	47% (7)				
				21	13% (2)				
				22	13% (2)				
				24	7% (1)				
				30	7% (1)				
	Aceptación (25)	68%	32%	9	20% (5)				
				10	36% (9)				
				11	32% (8)				
				12	12% (3)				
				2. Representativa	Descriptiva (22)	59%	41%	20	4% (1)
								21	32% (7)
22	41% (9)								
23	14% (4)								
24	9% (1)								
6	7% (5)								
Aceptación (94)	57%	43%	7	20% (20)					
			8	13% (12)					
			9	19% (18)					
			10	16% (15)					
			11	20% (20)					
			12	5% (4)					

### 3.1 Desarrollo de churrITOS

Tras el proceso de acondicionamiento de las materias primas, extrusión en frío y cocción en un medio seco, se obtuvo como resultado un producto de apariencia similar al que se encuentra en el mercado, en cuanto a forma, tamaño y color, sin embargo, fue notorio un cambio de intensidad de este último, debido a que el proceso de cocción fue con la técnica de horneado a diferencia del tradicional que se realiza en un agente húmedo mediante la fritura profunda. En la Figura 23. Diferentes botanas tipo churrITO disponibles en el mercado, así como, el producto desarrollado en el presente estudio.

Figura 23. Diferentes botanas tipo churrITO disponibles en el mercado



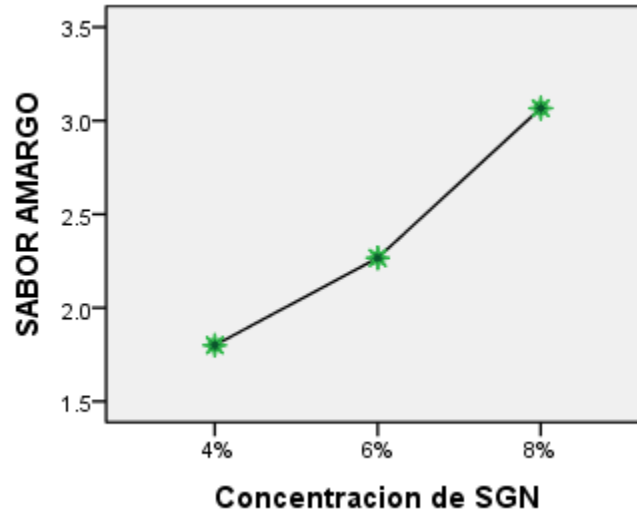
Diversas botanas tipo churrITOS tradicionales disponibles en los mercados de Ensenada, B.C. que sirvieron como eje de comparación con los elaborados en el estudio. A) fritura de masa de maíz, B) churrITOS de maíz fritos, C) churrITOS de maíz y amaranto adicionados con SGN desarrollados en el estudio y D) churrITOS de amaranto sabor sal y limón.

### 3.2 Evaluación sensorial

#### 3.2.1 Primera fase: piloto

La primera fase de valoración sensorial denominada piloto, inició con la evaluación de los parámetros organolépticos de sabor, color y textura por parte de estudiantes de la EEG, quienes percibieron un dulzor alto en la concentración de 4%. Sin embargo, el sabor que predominó fue el amargo ( $p= 0.012$ ), debido a que se determinó con percepción alta las concentraciones del 6% y 8%, lo que indica un cambio de sabor en relación al incremento de la adición de SGN. Incluso entre estas dos concentraciones, se observa un aumento en el sabor ( $p=0.009$ ) (Gráfica 1).

Gráfica 1. Percepción de amargor conforme a la adición de nopal



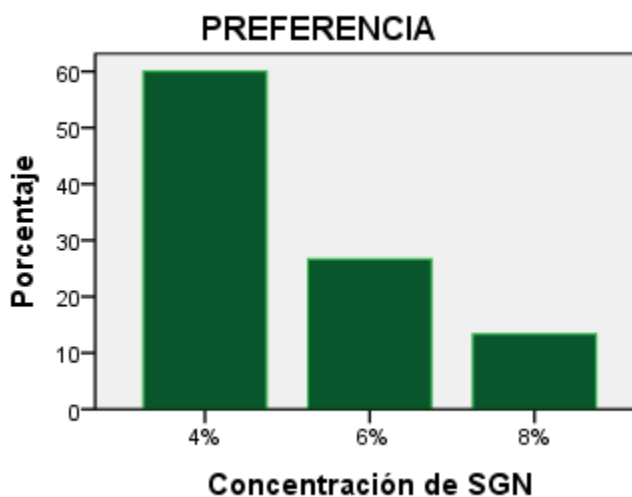
Aumento en la percepción del sabor amargo, donde 1 es la ausencia total, 2 casi imperceptible, 3 percepción media, 4 percepción alta

En cuanto a la textura, los participantes percibieron una dureza media en las tres concentraciones (42.2%). Durante la sensación de masticación se encontró una percepción media de humedad (31.1%), grasa (44.4%) y granulosidad (37.8%). Se percibió de igual manera la sensación residual de recubrimiento de boca (37.8%) como trozos pequeños (35.6%).

Por lo que corresponde a los parámetros de color, se reportó una opacidad extrema (44.4%) en las tres concentraciones evaluadas por los participantes.

El 60% de los participantes determinaron su preferencia por la concentración de 4% de SGN (Gráfica 2). Quienes fundamentaron su selección de acuerdo a los aspectos globales detectados en la botana tipo churrito y mencionaron: “la muestra del 4% presenta una textura y sabor agradable”, “su sabor, textura y color se describen como neutros, lo cual es bueno”, “la muestra del 4% fue la mejor porque tiene un balance perfecto entre sabor y textura”.

Gráfica 2. Preferencia global de la botana por los participantes de la prueba piloto

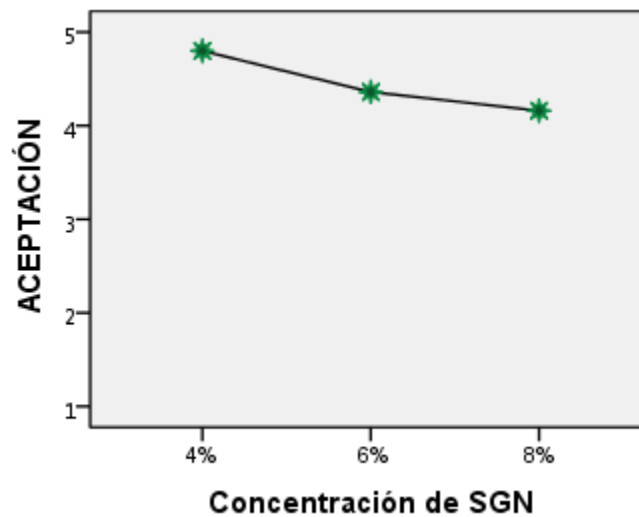


Por otra parte, los participantes de la escuela primaria en la prueba de aceptación presentaron una respuesta positiva dentro de los parámetros de MG y MGM en las tres muestras degustadas (Cuadro 17), sin embargo se observó una diferencia entre las concentraciones de 4% y 8% ( $p=0.010$ ) como se aprecia en la Gráfica 3.

Cuadro 17. Frecuencia de aceptación con escala hedónica facial (fase 1)

Parámetros de aceptación	Concentración 4%	Concentración 6%	Concentración 8%
	N (%)	N (%)	N (%)
Me disgustó muchísimo			1 (4)
Me disgustó			1 (4)
Ni me gustó ni me disgustó	5(20)	2 (8)	3 (12)
Me gustó	<b>20 (80)</b>	12 (48)	8 (32)
Me gustó muchísimo		11 (44)	12 (48)
Total	25 (100)	25 (100)	25 (100)

Gráfica 3. Comparación de los resultados obtenidos de la prueba de aceptación aplicada en la fase 1



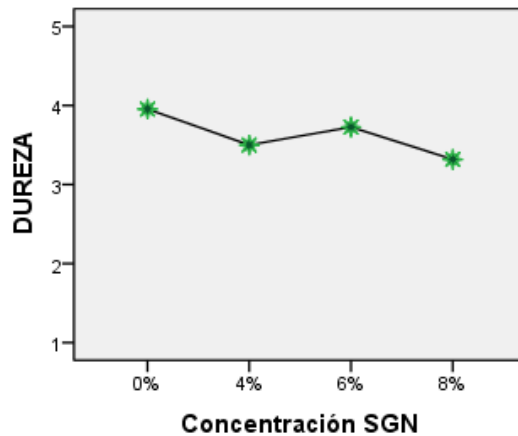
Comparación de medias obtenidas en las tres concentraciones de SGN por niños y niñas de 6 a 12 años en una escuela primaria de Ensenada Baja California en el 2015.

### 3.2.2 Segunda fase: Representativa

En esta fase del estudio se realizaron las mismas dos evaluaciones; particularmente en la prueba descriptiva los participantes mencionaron tener una percepción media de los cuatro sabores presentados (dulce, ácido, amargo y salado), aunque, con tendencia al amargor ( $p=0.05$ ) sin embargo, no se encontró una diferencia entre los factores, lo que indica que los churritos de maíz y amaranto tienen un sabor neutro en las tres concentraciones de SGN como la testigo.

Las características texturales de los productos extruidos presentaron una diferencia marginal en el parámetro de dureza inicial, según la prueba ANOVA ( $p=0.055$ ). A su vez la prueba de *Tukey* estableció un valor de  $p=0.047$  entre las muestras testigo y 8% según la (Gráfica 4). La humedad, la grasa y la granulosidad en las cuatro muestras fueron medianamente perceptibles durante la masticación, así como la sensación residual de trozos pequeños y recubrimiento bucal.

Gráfica 4. Percepción de dureza en las botanas extruidas

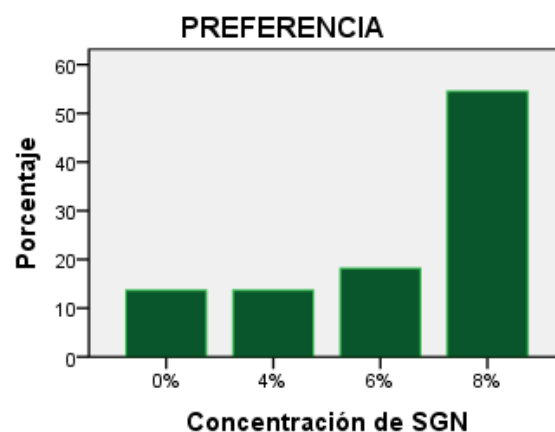


En la Gráfica 4 se ilustran la percepción de dureza de los churritos por los participantes del estudio y se marca una diferencia significativa entre la muestra testigo y la concentración del 8% de SGN

Los sujetos describieron una percepción alta de opacidad (42%) sobre todas las concentraciones de churritos, sin embargo la concentración del 8% se observó ligeramente más brillante que el resto.

En este caso el 54.5% de los colaboradores del estudio perfiló su preferencia por la concentración de 8% de SGN (Gráfica 5), debido a que estos consideraron a dicha muestra con una buena relación de textura-sabor-color. Sin embargo se precisó que el parámetro determinante fue el gusto, aun cuando se señaló a los cuatro productos como ausentes de un sabor característico.






Gráfica 5. Preferencia global de la botana por los participantes de la prueba representativa



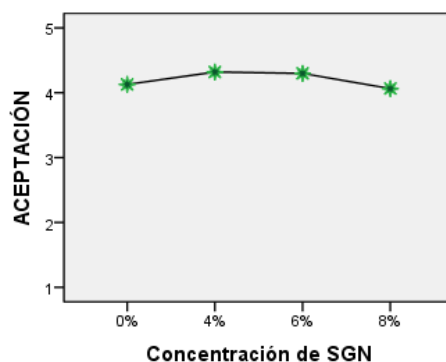
Preferencia de las botanas tipo churritos de maíz y amaranto en sus diferentes concentraciones de SGN en la prueba descriptiva realizada durante la segunda fase.

Por lo que se refiere a la prueba de aceptación por parte de los niños de la escuela primaria (Cuadro 18), se consideró una respuesta positiva dentro de los parámetros de MG (4.06) y MGM (4.32). En comparación con la aceptación reportada en la primera fase, esta vez no se encontró diferencia en ninguna de las pruebas ( $p=0.292$ ), debido a que la media de cada concentración se ubicó por encima de los 4 puntos, lo que indica una aceptación considerada dentro de la categoría “Me gusta” para todos los casos (Cuadro 18). Además se demostró que no existe una relación entre la aceptación y la adición de SGN como se muestra en la Gráfica 6.

Cuadro 18. Frecuencia de aceptación con escala hedónica facial (fase 2)

Parámetros de aceptación	Testigo	Concentración 4%	Concentración 6%	Concentración 8%
	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
 Me disgustó muchísimo	4 (4.3)	3 (3.2)	5 (5.3)	5 (5.3)
 Me disgustó	2 (2.1)	7 (7.4)	2 (2.1)	6 (6.4)
 Ni me gustó ni me disgustó	7 (7.4)	10 (10.6)	9 (9.6)	12 (18.0)
 Me gustó	29 (30.9)	20 (21.3)	29 (30.9)	24 (25.5)
 Me gustó muchísimo	52 (55.3)	<b>54 (57.4)</b>	49 (52.1)	47 (50)
Total	94 (100)	94 (100)	94 (100)	94 (100)

Gráfica 6. Comparación de los resultados obtenidos de la prueba de aceptación: fase 2



Comparación de medias obtenidas en las tres concentraciones de SGN por niños y niñas de 6 a 12 años en una escuela primaria de Ensenada Baja California en el 2017.

### 3.3 Valoración nutrimental

Al realizar la valoración de los componentes químicos presentes en las botanas, se observó un cambio considerable en el contenido de lípidos de la botana inicial (frita), el cual estaba por encima de los 11g como se percibe en el Cuadro 19, en la segunda parte del estudio este aspecto se minimizó entre 1.4 y 1.37g. De igual manera la concentración de sodio se redujo en un 70%, al adicionar menor cantidad de sal sin sacrificar el sabor de la botana. A su vez también aumentaron algunos de los componentes nutrimentales, como la proteína, la fibra, el calcio, el fósforo y a su vez se mantuvo la relación Ca/P dentro de los parámetros adecuados (Cuadro 20).

Cuadro 19. Contenido nutrimental en botana tipo churruto: fase 1

<b>Compuesto nutrimental</b>	<b>Testigo</b>	<b>SGN 4%</b>	<b>SGN 6%</b>	<b>SGN 8%</b>
<b>Porción (g)</b>	30	30	30	30
<b>Lípidos (g)</b>	11.03	13.41	9.50	11.59
<b>Proteína (g)</b>	2.13	2.19	2.21	2.24
<b>Fibra (g)</b>	0.54	1.18	1.50	1.82
<b>Calcio (mg)</b>	42.00	79.44	98.16	116.88
<b>Fósforo (mg)</b>	71.40	71.90	72.16	72.41
<b>Sodio (mg)</b>	472.30	472.29	472.28	472.28
<b>Ca/P</b>	0.59	1.10	1.36	1.61

Cuadro 20. Contenido nutrimental de la botana tipo churruto (fase 2)

<b>Compuesto nutrimental</b>	<b>Testigo</b>	<b>SGN 4%</b>	<b>SGN 6%</b>	<b>SGN 8%</b>
<b>Porción (g)</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Lípidos (g)</b>	1.44	1.41	1.39	1.37
<b>Proteína (g)</b>	2.97	3.01	3.00	3.02
<b>Fibra (g)</b>	1.05	1.68	1.98	2.29
<b>Calcio (mg)</b>	55.68	92.87	111.02	129.47
<b>Fósforo (mg)</b>	96.51	96.51	95.76	95.51
<b>Sodio (mg)</b>	152.20	150.84	150.15	149.47
<b>Ca/P</b>	0.58	0.96	1.16	1.36

Por otra parte, en el Cuadro 21 se compararon algunas botanas extruidas disponibles en los mercados de Ensenada, B.C. donde se observó que la botana desarrollada en el presente estudio contiene menor cantidad de lípidos, mayor calcio y fósforo que las botanas comerciales.

Cuadro 21. Comparación del contenido nutrimental de churritos comerciales y la muestra aceptada por los participantes de la prueba de aceptación

<b>Compuesto nutrimental</b>	<b>CC1</b>	<b>CC2</b>	<b>CC3</b>	<b>SGN 8%</b>
<b>Porción ajustada (gr)</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Lípidos (g)</b>	12.90	6.45	9.00	1.37
<b>Proteína (g)</b>	4.50	2.25	3.00	3.02
<b>Fibra (g)</b>	3.68	1.84	3.00	2.29
<b>Calcio (mg)</b>	0.00	0.00	0.00	129.47
<b>Fósforo (mg)</b>	0.00	0.00	0.00	95.51
<b>Sodio (mg)</b>	160.20	160.05	105.00	149.47
<b>Ca/P</b>	0.00	0.00	0.00	1.36

Información nutrimental reportada en las etiquetas de diversos churrito comercial (CC). CC1: churritos de nopal con chía, CC2: Churritos con amaranto sabor limón y sal, CC3: Fritura de maíz y SGN 8% de la fase 2 (representativa)

## Capítulo 4: Discusión y conclusión

### 4.1 Discusión

Las botanas de la tercera generación se consideran productos potencialmente en crecimiento, debido a la posibilidad de mejorar el contenido nutricional de un producto final, principalmente mediante el proceso de extrusión (Potter, 2012). Bajo estos parámetros se realizó el presente estudio a través de la incorporación de alimentos considerados tradicionales en las dietas mexicanas (maíz, amaranto y nopal).

En cuanto a la valoración sensorial, por una parte la prueba de aceptación representativa demostró que las cuatro botanas desarrolladas fueron del agrado de los niños, catalogada como un producto que “les gusta”. Se registró una preferencia de la concentración con 4% de SGN por el 57.4% de los participantes al considerar que “les gusta muchísimo”, más no detectaron la adición de nopal en ninguna de sus concentraciones ( $p=0.292$ ). Esto coincide con los resultados reportados por Galarza (2011), quien desarrolló un producto extruido a base de harina proveniente de sangre bovina con el fin de incrementar los niveles de hierro y obtuvo una respuesta favorable de “Me gusta” por el 83.4% de los participantes, pero tampoco se observó tendencia ni diferencia ( $p=0.426$ ) conforme a la adición de sangre. También Escobar, Guamis y Amaya, (2010), elaboraron una barra adicionada con nopal para la incorporación de fibra y obtuvo una aceptación de “me gusta”. No obstante, los participantes detectaron la incorporación de nopal asociándolo a una respuesta negativa hacia el producto. Potter (2012) utilizó la misma metodología para evaluar productos extruidos adicionado con polvos de frutas (manzana, plátano, fresa y mandarina) y reportó una aceptación entre 3 puntos (“Ni me gusta ni me disgusta”) y 4 puntos (“Me gusta”), así como, una preferencia por el churrito adicionado con mandarina por la relación entre sabor y apariencia.

Por otra parte, Ramos-Díaz et al. (2015), caracterizaron las propiedades texturales de un producto extruido a base de maíz adicionado con amaranto, quinoa y kañiwa mediante parámetros sensoriales con una prueba descriptiva y estos fueron corroborados con evaluaciones físicas, de tal manera que obtuvieron un incremento de dureza, porosidad y crujencia, así como, menor aspereza debido a la incorporación de los alimentos. Dato que coincide con este estudio al observar una dureza ligeramente mayor en la muestra testigo, así como un dulzor sutil que se le atribuye al porcentaje de harina de amaranto presente en

la formulación de la botana. Incluso Irriarte (2005), analizó de la misma manera tortillas de maíz adicionadas con amaranto y solo encontró cambios en las características de textura, mientras el sabor y el color no se vieron afectados por la modificación de la fórmula.

En esta investigación se observó la importancia del balance entre los parámetros de textura, sabor y color, los cuales fueron logrados de manera natural al llevar a cabo una formulación y procedimientos adecuados. Este indicador contradice lo mencionado por Ramos-Díaz et al., (2015) “el sabor de los productos ya no es una preocupación debido al uso de los aditivos y potencializadores de estas características, por lo que sugiere presentar mayor énfasis en los aspectos de textura”, al establecer como prioridad el equilibrio de las percepciones organolépticas.

Como se observó en los resultados, las características sensoriales sin duda son un factor determinante en la aceptación de un producto, aunque actualmente es necesario establecer una relación entre estos parámetros y su aporte nutrimental. Cuando se habla de botanas suele ser complicado hacer esta relación, debido a que están diseñadas como un paliativo que detiene el apetito momentáneamente. Sin embargo, los churritos desarrollados en el estudio no solo cumplen con esta condición, sino que el contenido de calcio está por encima del que aporta este tipo de alimento. En 2013 Castillo-Flores, elaboró un producto extruido adicionado con nopal y reportó un contenido de calcio que concuerda con este estudio.

El valor nutrimental del producto adicionado aumentó favorablemente en sus tres concentraciones, en especial el contenido de fibra y calcio. La fibra representó un incremento del 211% en la mínima adición de nopal (4%), al 324% en la máxima (8%) y mientras que el calcio aumentó del 121% al 208%, respectivamente. Estos elementos tienen la capacidad de ayudar a prevenir enfermedades de tipo crónico no transmisibles debido a que por una parte la fibra capta dentro de su estructura colesterol y glucosa, lo cual ayuda a disminuir la cantidad y velocidad de absorción de estos compuestos por el organismo; y por otra parte, el calcio ayuda a la regeneración ósea, al mantenimiento de las membranas celulares y el gasto calórico. El vínculo que tiene éste último con el fósforo es muy importante, ya que se logra una relación Ca/P de 0.96 a 1.36 rango recomendado para la biodisponibilidad del calcio (Gutiérrez-Cortez et al., 2008).

## **4.2 Conclusión**

Acorde a los resultados obtenidos en el trabajo, la aceptación de la botana tipo churruto de maíz y amaranto adicionada con 4% de sólidos granulares de nopal se considera del agrado de niños y adultos semientrenados al obtener un valor de “Me gusta” atribuido al balance de sus características organolépticas.

Con la formulación establecida se elaboraron productos sin la necesidad de aditivos ni potencializadores de sabor. Además, la adición de nopal no modificó significativamente las propiedades físicas del producto, sin embargo aumentó considerablemente su contenido nutrimental en sus tres concentraciones.

El no reconocimiento de la adición de nopal y la aceptación de todas las muestras evaluadas da margen a establecer las prioridades en cuanto al aporte nutrimental, es decir, el público aceptará tanto la concentración de 4% como la de 8% de SGN.

La incorporación de SGN y amaranto eleva considerablemente el contenido nutrimental, asimismo, brinda características deseables de textura a los productos extruidos.

Es necesario mencionar también que al adicionar un ingrediente externo a productos de consumo cotidiano, estos tienen mayor aceptación a medida que se modifican menos las características organolépticas originales. De igual manera las botanas se perfilan como un medio para la incorporación de nutrientes y mejorar la salud pública debido a que estos ya se encuentran implícitos en las prácticas alimentarias actuales.

## **4.3 Recomendaciones**

Se recomienda que la industria alimentaria y gastronómica considere la inclusión de alimentos tradicionales como lo son el maíz, amaranto y nopal a nuevos productos. Debido a que propiedades sensoriales que brindan estos alimentos son del agrado del consumidor.

Es necesario determinar de manera precisa mediante estándares internacionales el contenido nutrimental de las botanas desarrolladas en el estudio. Asimismo establecer la cantidad de calcio biodisponible y fibra que se pretende ofrecer en esta botana, ya que los resultados obtenidos dan margen para definir la concentración a ofrecer.

## Anexos

### Anexo 1 Prueba descriptiva



Universidad Autónoma de Baja California  
Escuela de Enología y Gastronomía

Evaluación sensorial descriptiva de perfiles  
Churritos de maíz y amaranto

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del participante: \_\_\_\_\_

#### INSTRUCCIONES:

1. Escriba el código de la muestra.
2. Enjuague su boca con un sorbo de agua.
3. Pruebe el producto.
4. Seleccione la opción que mejor describa su percepción.
5. Rectifique sus respuestas en caso de ser necesario.

Muestra	Ausencia total	Casi imperceptible	Percepción Media	Percepción Alta	Percepción Extrema
A					
SABOR	1	2	3	4	5
Dulce					
Ácido					
Amargo					
Salado					
TEXTURA	1	2	3	4	5
<i>Sensación inicial</i>					
Dureza					
Fractibilidad					
<i>Sensación de masticación</i>					
Humedad					
Grasa					
Granulosidad					
<i>Sensación residual</i>					
Trozos pequeños					
Recubre la boca					
COLOR	1	2	3	4	5
Opaco					
Brillante					

Nombre del participante: \_\_\_\_\_

Muestra A	Ausencia total	Casi imperceptible	Percepción Media	Percepción Alta	Percepción Extrema
SABOR	1	2	3	4	5
Dulce					
Ácido					
Amargo					
Salado					
TEXTURA	1	2	3	4	5
<i>Sensación inicial</i>					
Dureza					
Fractibilidad					
<i>Sensación de masticación</i>					
Humedad					
Grasa					
Granulosidad					
<i>Sensación residual</i>					
Trozos pequeños					
Recubre la boca					
COLOR	1	2	3	4	5
Opaco					
Brillante					

De las 4 muestras anteriores ¿cuál fue la que le gustó más?

\_\_A      \_\_B      \_\_C      \_\_D

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

***¡Muchas Gracias!***

## Anexo 2. Prueba de aceptación

Universidad Autónoma de Baja California

Escuela de Enología y Gastronomía



Fecha			
Código			

### Evaluación sensorial de aceptación de botana tipo churrito

Responsable del estudio: Andrea Doria Valencia Niño de Rivera.

Nombre del participante: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Género:  fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucción:** Pruebe el producto que se presenta a continuación y marque con una X la carita que describa la reacción que le causo el producto que acaba de probar.

Muestra 1



Muestra 2



Muestra 3



Muestra 4

Comentarios:

---

---

¡Gracias por su participación!

### Anexo 3. Consentimiento informado



Universidad Autónoma de Baja California  
Escuela de Enología y Gastronomía

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Título del estudio:** Evaluación sensorial de churrITOS de maíz y amaranto adicionados con nopal.

**Responsables del estudio:**

Alumna: Andrea doria Valencia Niño de Rivera.

Docente: Cynthia De Lira García

El motivo del presente informe es invitar a la población estudiantil a participar en el estudio que desarrolla la estudiante de la Licenciatura en Gastronomía Andrea Doria Valencia Niño de Rivera, el cual tiene como propósito conocer el grado de aceptación y analizar las propiedades organolépticas en cuanto a sabor, color y textura de churrITOS de maíz y amaranto adicionados con sólidos granulares de nopal.

La prueba consistirá en que el participante pruebe los churrITOS y enseguida realice una descripción del producto de acuerdo con la sensación que le provoque.

Para la realización del estudio es necesario que los participantes no hayan sido diagnosticados con algún tipo de reacción alérgica o contraindicación a los siguientes alimentos:

- Harina de maíz
- Harina de amaranto
- Sal
- Nopal

“Yo, como participante voluntario del estudio, tengo la oportunidad de hacer preguntas relacionadas al tema, las cuales deberán ser respondidas de manera clara y precisa”.

La colaboración puede ser suspendida en cualquier momento durante la prueba si así lo desea.

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Número de teléfono o correo electrónico: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Firma

## Anexo 4. Consentimiento informado para tutores legales



Universidad Autónoma de Baja California  
Escuela de Enología y Gastronomía

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Título del estudio:** Evaluación sensorial de churritos de maíz y amaranto adicionados con nopal.

**Responsables del estudio:** Cynthia De Lira García

El motivo del presente informe es invitar a la población estudiantil a participar en el estudio que desarrolla la estudiante de la licenciatura en gastronomía Andrea Doria Valencia Niño de Rivera, el cual tiene como propósito conocer el grado de aceptación y analizar las propiedades organolépticas en cuanto a sabor, color y textura de churritos de maíz y amaranto adicionados con sólidos granulares de nopal.

La prueba consistirá en que el participante pruebe los churritos y enseguida realice una descripción del producto de acuerdo con la sensación que le provoque.

Para la realización del estudio es necesario que los participantes no hayan sido diagnosticados con algún tipo de reacción alérgica o contraindicación a los siguientes alimentos:

- Harina de maíz
- Harina de amaranto
- Sal
- Nopal

**Es importante que en caso de presentar alergia, no se autorice la participación del menor en el estudio.**

“Yo, como tutor legal del menor que participará en el estudio tengo, la oportunidad de hacer preguntas relacionadas al tema, las cuales deberán ser respondidas de manera clara y precisa.

Al firmar este consentimiento autorizo que mi hijo(a) deguste churritos de maíz y amaranto adicionados con nopal y será él quien participe de manera voluntaria, teniendo la posibilidad de suspender su colaboración en cualquier momento durante la prueba si así lo desea.

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del niño (a): \_\_\_\_\_

Grado y grupo: \_\_\_\_\_ Fecha de nacimiento del niño (a): \_\_\_\_\_

Nombre del padre de familia o tutor: \_\_\_\_\_

Número de teléfono o correo electrónico: \_\_\_\_\_

## Referencias

- Álvarez, E. E., y Sánchez, P. G. (2006). La fibra dietética. *Nutr Hosp*, 21(2), 61-72.
- Arendt, E., y Zannini, E. (2013). *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Oxford: Woodhead Publishing.
- Asociación Mexicana del Amaranto (2010). Centro de información al consumidor de amaranto. Recuperado el 23 de Febrero del 2017, de <http://www.amaranto.com.mx>
- Backer, R., Meyer, D., Wagoner, P., Saunders, R. M.. (1992). Alternative crops for sustainable agricultural systems. *Elsevier Science Publishers B.V.* 266.
- Balderas, M. E. (2009). Composición nutrimental y contenido de taninos en el nopal (*Opuntia Ficus Indica*) en diferentes estadios de maduración. Tesis de grado (Licenciado en nutrición). Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Querétaro.
- Barraza Segovia Edith. (1993). El proceso de extrusión una alternativa tecnológica aplicada en la elaboración de productos alimentarios. Tesis de grado (Ingeniería en Alimentos). Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM. México.
- Basurto Santos, D.; Lorenzana-Jiménez, M.; Magos Guerrero, G. A. (2006). Utilidad del nopal para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2. *Revista Facultad de Medicina UNAM*, 49(4), 157-161.
- Becerra, R. (2000) El amaranto, nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. CONABIO. *Biodiversitas*, 30 (5), 1-6.
- Becker, R., Lorenz, K., Stafford, A. E., Grossjean, O. K., Saunders, R. M., Betschart, A. A., y Wheeler, E. L. (1981). A compositional study of Amaranth grain. *Journal Of Food Science*, 46(4), 11-15.
- Bravo H. H. 2002. Pencas de antaño. El Nopal. Artes México Núm. 59: 8-15.
- Buenrostro M, y C. Barros. 2004. Recetario del nopal de milpa alta, D.F. y Colima. Serie Cocina Indígena y Popular Num. 48. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México. 244 p.

- Cai, Y. Z., Corke, H. y Wu, H. X. (2004). Amaranth. In: wrigley, c., corke, h. and walker, c. (eds) Encyclopedia of Grain Science. Oxford: Elsevier.
- Calderón-Paniagua, N.; Estrada-Luna, A. A.; Martínez-Hernández, J. de J. (2001). Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp.). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 7 (2), 127-132.
- Campos-Rivera, N. H. y Reyes- Lagunes, I. (2014). Preferencias alimentarias y su asociación con alimentos saludables y no saludables en niños preescolares. *Acta de investigación psicológica*, 4(1), 1385-1397. Recuperado en 07 de abril de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-48322014000100006&lng=es&esytlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-48322014000100006&lng=es&esytlng=es).
- Castillo-Flores, E. (2013). Establecimiento de las condiciones de proceso de una botana fortificada con adición de polvo de nopal en un extrusor en frío. Tesis de grado (Ingeniería en alimentos). UNAM. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. México.
- Chávez Villasana, A. (2013). Tablas de uso práctico de los alimentos de mayor consumo (3a. McGraw Hill México.
- Cifuentes M. (2016). El desarrollo del amaranto, la semilla que alimenta a los astronautas. Veoverde. Recuperado el 06 de marzo del 2017, de <https://www.veoverde.com/2016/02/el-desarrollo-del-amaranto-la-semilla-que-alimenta-a-los-astronautas-de-la-nasa/>
- Contreras-González, L.T. (2015) Plan de negocios para el establecimiento de unidades móviles de venta de botanas preparadas en la zona metropolitana de Guadalajara. Tesis de grado (Maestro en administración) ITESO. Universidad Jesuita de Guadalajara. México.
- Contreras-Padilla, M.; Pérez-Torrero, E.; Hernández-Urbiola, M. I.; Hernández-Quevedo, G.; del Real, A.; Rivera-Muñoz, E. M.; Rodríguez-García, M. E. (2010). Evaluation of oxalates and calcium in nopal pads (*Opuntia ficus-indica* var. *redonda*) at different maturity stages. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24(2), 38-43.

- Cornejo-Villegas, M. A., Gutiérrez-Cortez, E., Rojas-Molina, I., Del Real-López, A., Zambrano-Zaragoza, M. L., Martínez-Vega, V., y Rodríguez-García, M.E. (2013). Physicochemical, morphological, and pasting properties of nixtamalized flours from quality protein maize and its particle distribution. *LWT - Food Science and Technology*, 53 (1), 81-87
- Corrales, G. J. (2002) Fisiología y tecnología postcosecha del fruto de tuna y del nopal verdura. Reporte de investigación. CIESTAAM. UACH. p. 29-35.
- Cuatzo-Lozano, M., López-García, F., Briones-Bermúdez, J. E. y Gallardo-Navarro, Y. T. (2010) .Elaboración de una botana de proteína a partir de harina de soya-maíz. XI Congreso Nacional de Ciencia y tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Nuevo León- Universidad de Guanajuato. Monterrey, N.L. Agosto 31 y Septiembre 1º, 2009. RESPYN 10(4) Número especial 10. 2009 Pp.1-9, ISSN 1870-0160
- Delgado-Nieblas, C. I., Zazueta-Morales, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Aguilar-Palazuelos, E., Camacho-Hernández, I. L., Rocha-Guzmán, N. E., y González-Laredo, R. F.(2011). Elaboración y caracterización de alimentos botana de tercera generación expandidos por microondas enriquecidos con harinas de calabaza cehualca (cucurbita moschata d) y maíz amarillo (zea mays l.). Escrito para la presentación del simposium internacional sobre tecnologías convencionales y alternativas en el procesamiento de maíz Chihuahua, Chihuahua. México. 3-5 de Agosto de 2011 recuperado el 19 de marzo del 2017 de, [.http://sistemanodalsinaloa.gob.mx/archivoscomprobatorios/\\_15\\_memoriaextenso/325.pdf](http://sistemanodalsinaloa.gob.mx/archivoscomprobatorios/_15_memoriaextenso/325.pdf)
- Díaz-Díaz, A., (2015). Brechas entre productores y empresas tractoras para comercialización de nopal verdura en saltillo, coahuila. 20 p. (Economía Agrícola y Agronegocios), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de ciencias Socioeconómicas. México
- Escalante, M. C. (2010). Rescate y revaloración del cultivo del amaranto. Fundación grupo produce Distrito Federal. Programa de elaboración de casos de éxito de innovación en el sector agroalimentario. México. Recuperado el 23 de febrero del 2017, de

[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.siac.org.mx/fichas/44%2520D.F.%2520Amaranto.pdf&gws\\_rd=cryei=d5OvWkuXM4iH0wKI-bbYAg#20](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.siac.org.mx/fichas/44%2520D.F.%2520Amaranto.pdf&gws_rd=cryei=d5OvWkuXM4iH0wKI-bbYAg#20)

- Escobar, L.M., Guamis, B., y Amaya, C.A. (2010). Desarrollo de un producto con nopal de “alto contenido de fibra”. XI congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Autónoma de Nuevo León- Universidad de Guanajuato. Monterrey, N.L. Agosto 31 y Septiembre 1°, 2009. RESPYN 10(4) Número especial 10. 2009 Pp.1-9, ISSN 1870-0160
- Escudero, N. L., Zirulnik, F., Gomez, N. N., Mucciarelli, S. I., y Gimenez, M. S. (2006). Influence of a protein concentrate from *Amaranthus cruentus* seeds on lipid metabolism. *Experimental Biology and Medicine.*, 231 (2), 50–59.
- Espinosa- Munfagás, J. (2007) Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial universitaria. La Habana, Cuba
- Espitia, E. (1990). Situación actual y problemática del cultivo de amaranto en México. Chapingo, México: Ciamec
- Espitia-Rangel, E., C. Mapes-Sánchez, D. Escobedo-López et al. (2010), Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México, Celaya, inifap-Centro de Investigación Regional Centro, p. 201
- FAO. (1993). El maíz en la nutrición humana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Boletín 25
- FAO. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Boletín 162
- Fideicomiso Instituido en Relación con la Agricultura (FIRA). (2015) Informe de actividades 2015. Recuperado el 11 de febrero del 2017, de <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=13880>
- Flores-Pérez, A. C. (2014) Desarrollo de una harina a base de semilla de Amaranto (*Amaranthus cruentus*), Chía (*Salvia hispánica*) y Ayote (*Curcubita moschata*). Guatemala. Tesis. Universidad Rafael Landívar. Recuperada el 17 de febrero del 2017, en <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/09/15/Flores-Alejandra.pdf>

- Food and Agriculture Organization (FAO). (2014) El 2014 apunta un récord histórico en la producción mundial de cereales. Recuperado el 11 de febrero del 2017, de <http://www.fao.org/news/story/es/item/271896/icode/>
- Galarza, R. R. O. (2011), Calidad nutricional de un producto extruido fortificado con dos niveles de hierro proveniente de harina de sangre bovina. Tesis de grado (Licenciatura en nutrición) Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú
- Galati, E. M.; Pergolizzi, S.; Miceli, N.; Monforte, M. T.; Tripodo, M. M. (2002). Study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. cladodes. *Journal of Ethnopharmacology*. 83 (1), 229-233.
- García-Velazco, A. E. (2016) Desarrollo y caracterización calorimétrica de una botana extruida inflada y horneada de amaranto y maíz para uso comercial. Tesis de grado (Ingeniería en alimentos). UNAM. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Garzon, S., M. L. (2006). Almidón retrogradado para uso en compresión directa. *Red de revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. 37(2), 18-28
- Ginestra, G.; Parker, M.; Bennett, R. N.; Robertson, J.; Mandalari, G.; Narbad, A.; Curto, R.; Bisignano, G.; Faulds, C. B.; Waldron, K. (2009). Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) (L.) Mill. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 57(2) 10323-10330.
- Gómez-López, P., Aquino, E.N., Martínez-Bustos, F. y Verdalet, I. (2013). Alimentos extruidos están por todos lados. *La ciencia y el hombre*. 26 (1). Recuperada el 19 de marzo del 2017, de <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol26num1/articulos/los-alimentos-extruidos.html>
- Granados, S. D. (2003). El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Trillas. México.
- Gutiérrez-Cortez, E., Palacios-Fonseca, A.J., Rojas-Molina, J.I., Rodríguez-García, M. E. (2008). La importancia del calcio, fósforo y su relación Ca/P en productos nixtamalizados. En M.E. Rodríguez García, S.O. Serna Saldivar, F. Sánchez

- Sinencio (Editores), Nixtamalización del maíz y la tortilla (pp. 83-101). México: Universidad Autónoma de Querétaro
- Guzmán, L. D. y Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista Sociedad Química Perú*. 73 (1), 41-45.
- Hernández M. (2016) Resultados ponderados de la encuesta nacional de salud y nutrición de medio camino (ENSANUT). Instituto Nacional de Salud Pública. Consultado el 20 de abril del 2017, de: [http://oment.uanl.mx/wp-content/uploads/2016/12/ensanut\\_mc\\_2016-310oct.pdf](http://oment.uanl.mx/wp-content/uploads/2016/12/ensanut_mc_2016-310oct.pdf)
- Hernández, A. F., Calzada, R. T., Avila, J. A., Castillo, I. O., Rodríguez, G. A. (2005). Conservación, manejo y evaluación del germoplasma comercial de nopal (*Opuntia spp*) en la uruza-uachapingo. *chapingo*, 7(2), 87-92
- Hernández, G. R., y Herrerías, G. G. (1998). Amaranto: Historia y promesa. Horizonte del tiempo. Patrimonio histórico de Tehuacán AC México, 529.
- Hernández-Urbiola, M. I., Pérez-Torrero, E., y Rodríguez-García, M. E. (2011). Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1287-1295.
- Hollingsworth, P. (2001) Third-generation snacks take aim at popcorn market. *Food Technology* 55(6), 20-21.
- Hortelano-pi, J.M. (2014) Amaranto [Figura]. Recuperado el 11 de febrero del 2017, de [https://dx.doi.org/10.1590/S0036-36342010000400006](https://www.flickr.com/photos/jmhortelanopi/13217154774/in/photostream/Imbachí-Narváez, P. C., Gutiérrez, D., Ortiz, D. y Pachón, H. (2010). Evaluación del valor nutricional de recetas típicas elaboradas con maíz común y biofortificado en el departamento del cauca, Colombia. <i>Salud Pública de México</i>, 52(4): 305-314. <a href=)
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2008). Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz. México. Consultado el: 10 de enero del 2017. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/agrodiversidad.pdf>

- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2011) Producción de nopal. México. Consultado el 22 de diciembre de 2016. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/71/nverdura.html>.
- Irriarte, C. A. (2005) Elaboración de una tortilla de maíz blanco enriquecida con harina de amaranto reventado. Tesis de grado (ingeniería biológica). Instituto Biológico de Sonora. Obregón, Sonora, México.
- Kato T, Mapes C, Mera M, Serratos J, Bye R (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Kaur S., Singh N. y Chand R., J. (2010). *Amaranthus hypocondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plants, grain and flours. *Food Chemistry*, 123 (2), 1227-1234. doi:10.1016/j.foodchem.2010.05.091
- Kvidahl, M. (2016). The grand evolution of puffed and extruded snacks. *Snack Food y Wholesale Bakery*, 105(7), 52-58.
- Landero, F. A.; Cruz-Sáenz, E. (2006). Adaptación del nopal (*Opuntia ficus indica* L. Miller) para la producción de nopal verdura en la comunidad de Buenavista del sur, Diriamba, Carazo. Licenciatura Universidad nacional agraria. Nicaragua
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). Sensory evaluation of food: principles and practices. Springer Science & Business Media.
- Loubet, G. A. L. (2008). Biodisponibilidad de calcio presente en harina de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) en función de su estadio de maduración. Mineral de la Reforma, Hidalgo. Tesis de grado (Licenciada en nutrición), UAEH. Instituto de ciencias de la salud. México.
- Magloire, F. J.; Konarski, P.; Zou, D.; Conrad, S. F.; Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*. 11 (2), 2574-2589.
- Majzoobi M., Kave, Z. y Farahnaky A. (2016). Effect of acetic acid on physical properties of pregelatinized wheat and corn starch gels. *Food Chemistry*, 196 (2), 720-725

- Martínez-Manrique, Jiménez-Vera, V (2013). Estructura de los cereales: maíz (*Zea mays*). Procesos tecnológicos de cereales. UNAM. Consultado el 15 marzo del 2017, de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=25](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25)
- Mazzeo, T., Brambillasca, F., Pellegrini, N., Valmarana, R., Corti, F., Colombo, C. y Agostoni, C. (2014) Evaluation of visual and taste preferences of some gluten-free commercial products in a group of celiac children. *Food science and nutrition*. 65(1), 112-116
- McClung de Tapia, E., Martínez Yrizar, D., Ibarra Morales, E., y Adriano Morán, C. C. (2014). Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la cuenca de México. *Anales de Antropología* 48(1), 97-121
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T., y Civille, G. V. (2006). Sensory evaluation techniques. CRC press.
- Mercado, P., y Vilchis, G. (2013). La obesidad infantil en México. *Alternativas en Psicología*, 17(28), 49-57.
- Morales Guerrero, J. C., Vázquez Mata, N., y Bressani, R. (2009). El Amaranto, Características físicas, químicas, taxológicas y funcionales y aporte nutricional. México: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubiran
- Morales, G., Vázquez, N., Bressani, R. (2014). El Amaranto: Características y aporte nutricional. México D.F, México: Trillas.
- Navarrete, P. C. (2006) Caracterización física de extrudidos preparados con mezclas de harinas QPM y frijol Lima. Tesis de grado (Ingeniería en alimentos) Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. México.
- Nieto-Cabrera, C. (1989) El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp*). Una alternativa agronómica para Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado el 11 de febrero del 2017, de <http://190.12.16.188/bitstream/41000/2688/1/iniapscpm52.pdf>

- Nobel, P.S., and Bobich, E.G. (2002) Plant frequency, stem and root characteristics, and CO<sub>2</sub> uptake for *Opuntia acanthocarpa*: elevational correlates in the northwestern Sonoran Desert. *Oecologia* 130: 165-172.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-051-scfi/ssa1-2010. Bienes y servicios. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-información comercial y sanitaria. Diario Oficial de la Federación, 5 de abril del 2010.
- Nout, MJR. (2009) Rich nutrition from the poorest-cereal fermentations in Africa and Asia. *Food Microbiol*, 26(1): 685-92.
- Ochoa, J. 2003. Principales características de las distintas variedades de tuna (*Opuntia* spp.) de la República Argentina *In*: Inglese, P. y Nefzaoui, A. eds. Cactusnet Newsletter. FAO
- OECD. (2003). Consensus document on the biology of *zea mays* subsp. *mays* (maize). Organisation for economic co-operation and development. París, Francia. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology, 27.
- Ortas, L. (2008). El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Boletín 7.
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D., y Marathée, J. P. (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (No. 28). Food y Agriculture Org.
- Paul, C. (2016) Declaran al amaranto patrimonio cultural intangible de la CDMX. La jornada en línea. Recuperado el 11 de febrero del 2017, de <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2016/09/04/declaran-al-amaranto-patrimonio-cultural-intangible-de-la-cdmx>
- Peralta, E. (2009) Amaranto y Ataco: Preguntas y respuestas. Boletín divulgativo No. 359. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 8p.
- Pimienta, E. 1990 El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México.
- Porr M. (2009). Amaranto latinoamericana con fuerzas colosales. Proyecto el pan alegre

- Potter, R., Stojceska, V., y Plunkett, A. (2013). The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT-Food science and technology*, 51(2), 537-544.
- Producción mundial de maíz. (2017). Maíz producción mundial 2016/2017. Recuperado el: 20 de enero del 2017, de :<https://www.produccionmundialmaiz.com/default.asp>
- PROFECO (2010) Tecnología doméstica PROFECO: Alegrías. Revista del consumidor. Recuperado el 14 de marzo del 2017, de: <http://revistadelconsumidor.gob.mx/?p=7677>
- Ramírez, M. E., Carballo-Carballo, A., Santacruz, A., Conde, V., Espitia, E., y González-Cossío, F. (2010). Distinción, homogeneidad y estabilidad mediante caracterización morfológica en variedades de amaranto. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 335-349. Recuperado en 13 de febrero de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342010000300005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300005&lng=es&tlng=es)
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. Revista ReCiTeIA.
- Ramos-Díaz, J. M., Suuronen, J. P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., y Jouppila, K. (2015). Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2), 1047-1056.
- Rangel-Meza, E., Muñoz Orozco, A., Vázquez-Carrillo, G., Cuevas-Sánchez, J., Merino-Castillo, J., y Miranda-Colín, S. (2004) Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencias*, 38(1): 53-61
- Repo-Carrasco, R., Julio-Pilco, J. y Encina-Zelada, C. R., (2011) Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.). *Ingeniería Industrial*, 29 (1) 209-224
- Ríos, R. J. y Quintana, M. V. (2004) Manual del Participante, Manejo General del Cultivo del Nopal. Colegio de Postgraduados. Secretaria de la Reforma Agraria. p. 8-10.
- Rodríguez, F. H. (2009). Cultivo orgánico del nopal. Trillas. México. p. 19.

- Rodríguez-García ME, De Lira C, Hernández-Becerra E, Cornejo-Villegas MA, Fonseca-Palacios AJ, Rojas-Molina I, Reynoso R, Quintero LC, Del Real A, Zepeda TA, Muñoz-Torres C. (2007). Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia Ficus Indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Food Hum Nutr*; 62 (3), 107-112.
- Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I. I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Delgado-Licon, E., y Vivar-Vera, M. A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 673-680.
- Rojas-Infante, D.M. (2011) Percepción de alimentación saludable, hábitos alimentarios estado nutricional y práctica de actividad física en población de 9-11 años del colegio cecid ciudad Bolívar, Bogotá. Tesis de grado (Nutricionista dietista). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez-Cortez E., Rojas, A., Ibarra, C., Rojas, A., Aguilera, a. y Cornejo, A. (2011) Desarrollo de una botana fortificada de tercera generación como alternativa para incrementar la ingesta de calcio en la población mexicana. *Revista metabolismo óseo y mineral*, 9 (3), 69-70
- Ruiz-Alvarado, C. (2016). ¿Qué es el nopal? [Figura]. Recuperado de Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México.
- Saenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO Chile).
- Sáenz, C.; Sepúlveda, E.; Matsuhira, B. (2004). *Opuntia* spp. mucilage's a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*. 57 (1). 275-290
- SAGARPA-SIAP. (2010). Avance de siembra y cosechas Recuperado el 23 de febrero del 2017, de Agricultura. Producción Anual:[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)

- SAGARPA-SIAP. (2016). Atlas agroalimentario. Recuperado el 18 de marzo del 2017, de Agricultura.:[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapperItemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapperItemid=351)
- Sánchez, H. (1978). Las Cactáceas de México. 2 ed. Vol. 1. UNAM. México. 30-33; 62-69.
- Sánchez-Ortega, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*) Reduca (Biología). Serie Botánica. 7 (2), 151-171.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2008). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Estadística básica. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2015) Genera INIFAP innovadora tecnología intensiva para producir nopal-verdura en temporada invernal. Consultado el 22 de diciembre de 2016. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B071.aspx>
- Serratos-Hernández, J. A. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Greenpeace México. Consultado el: 10 de enero de 2017. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2009/3/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>
- Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). (2012). Red nopal. Consultado el 22 de diciembre del 2016. Disponible en: [http://www.sinarefi.org.mx/redes/red\\_nopal.html#cajaUsos](http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_nopal.html#cajaUsos)
- Stintzing, F. C. y Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition and Food Research*. 49 (2), 175-94.
- Sun, H., Wiesenborn, D., Tostenson, K., Gillespie, J., y Rayas-Duarte, P. (1997). Fractionation of squalene from amaranth seed oil. *Journal of American Oil Chemists Society*, 74 (1), 413–418.

- Surco Almendras, J.C., y Alvarado Kirigin, J.A. (2011). Estudio estadístico de pruebas sensoriales de harinas compuestas para panificación. *Revista Boliviana de Química*, 28(2), 79-82.
- Tapia, M. E. y Fries, A. M. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú. Lima.
- Téllez, R.M. (2014). Composición química del grano de maíz. Consejo empresarial para la industria del maíz y sus derivados A, C. Consultado el 20 de enero del 2017, de: <http://www.consejoempresarialparalaindustriadelmaiz.com/single-post/2014/03/07/La-composici%C3%B3n-qu%C3%ADmica-del-grano-de-ma%C3%ADz>
- Trachtenberg, S. y Mayer, M. A. (1981). Composition and properties of Opuntia Ficus-Indica mucilage. *Phytochemistry*. 20(12), 2665-2668.
- USDA/ARS (2012). USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Boletín 25. Datos de nutrición del laboratorio. Recuperado el 13 de marzo del 2017, de: <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
- Valadés, J. (2005). El calcio combate la obesidad. About en español. Recuperado el 6 de noviembre del 2014, de <http://remediosnaturales.about.com/od/Dietas-Y-Terapias/qt/El-Calcio-Combate-La-Obesidad.htm>
- Valdez Cepeda, R. D.; Blanco, M. F.; E. Vázquez Alvarado, R. E.; Magallanes Quintanar, R. (2008). Producción y usos del nopal para verdura. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 14 (1), 1-19.
- Valenzuela-Lagarda, J., Gutiérrez-Dorado, R., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M., Valdez-Torres, J., Reyes-Moreno, C., y Muy-Rangel, M. (2017). Botanas expandidas a base de mezclas de harinas de calamar, maíz y papa: efecto de las variables del proceso sobre propiedades fisicoquímicas. *Journal Of Food*, 15(1), 118-124. doi:10.1080/19476337.2016.1219391
- Valladares, C.A. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Centro Universitario Regional del Litoral

- Atlántico (CURLA). Consultado el 27 de diciembre del 2016, de: [http://institutorubino.edu.uy/materiales/Federico\\_Franco/6toBot/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf](http://institutorubino.edu.uy/materiales/Federico_Franco/6toBot/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf)
- Yapu, G. (2014). Plantación de tuna (opuntia sp.) en mollesnejta. Consultado el 22 de diciembre de 2016. Disponible en: <https://mollesnejta.wordpress.com/2014/09/04/plantacion-de-tuna-opuntia-sp-en-mollesnejta/>
- Zizumbo, D. y Colunga García-Marín, P. (2010). Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57 (1), 813–825
- Zrally, Z., Pisarikova, B., Hudcova, H., Trckova, M., y Herzig, I. (2004). Effect of feeding amaranth on growth efficiency and health of market pigs. *Acta Veterinaria Brno.*, 73 (2), 437–444.